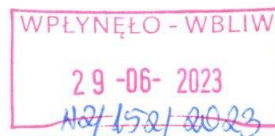


Prof. dr hab. inż. Jacek HULIMKA  
Politechnika Śląska  
Katedra Inżynierii Budowlanej  
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Gliwice, czerwiec 2023 r.



## RECENZJA

### ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA MGRA INŻ. TOMASZ KOWALIKA „WPŁYW ODPADOWYCH WŁÓKIEŃ BAZALTOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE FIBROBETONU”

#### Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej, Pana profesora Wojciecha Puły, wyrażoną w piśmie z dnia 14 marca 2023 roku.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Tomasza Kowalika pt. „Wpływ odpadowych włókien bazaltowych na właściwości mechaniczne fibrobetonu”. Praca ta została przygotowana na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem Pana prof. dra hab. inż. Andrzeja Ubysza jako promotora i Pana dra inż. Dominika Legonia jako promotora pomocniczego.

Opiniowana dysertacja zawarta jest w jednym tomie liczącym 121 stron.

#### Problematyka rozprawy

Jako temat swojej rozprawy Doktorant wybrał problematykę wpływu odpadowych włókien bazaltowych na właściwości mechaniczne fibrobetonu. Zagadnienie to ma znaczenie praktyczne w aspekcie możliwości racjonalnego zagospodarowania odpadowych (wadliwych) prętów zbrojeniowych typu BFRP. Tym samym temat badawczy podjęty przez Doktoranta należy uznać jako aktualny – przy czym w pracy brakuje chociaż zgrubnego oszacowania ilości wadliwych prętów, a dopiero to pozwoliłoby na ocenę praktycznej przydatności pozyskiwanych z nich włókien zbrojenia rozproszonego. W tym miejscu należy też odnieść się do tytułu pracy – moim zdaniem jest on zbyt szeroki w stosunku do zawartych w niej treści.

W kontekście tematu pracy Doktorant sformułował cele i tezy rozprawy, a mianowicie:

Zadanie 1: Analiza możliwości zastosowania i utylizacji odpadowych włókien bazaltowych na właściwości betonu kompozytowego (komentarz: nie "możliwości i utylizacji", tylko "wpływu" – w swojej oryginalnej formie zdanie nie jest jasne).

Zadanie 2: Wpływ zastosowania zbrojenia rozproszonego na zakres quasi kruchych odkształceń betonu, ograniczający katastroficzny proces destrukcji (komentarz: słowo "katastroficzny" nie jest właściwe, wystarczy np. "gwałtowny").

Zadanie 3: Wpływ odpadowego zbrojenia rozproszonego na możliwości ograniczenia skurczu betonu.

Celem powyższych zadań jest udowodnienie następujących tez.

1. Odpadowe włókna bazaltowe mogą być wykorzystywane jako niemetaliczne zbrojenie rozproszone do betonu. W ramach tej tezy postawiono zadanie pozwalające określić optymalny kształt i udział procentowy tych włókien w rozciągającym elemencie konstrukcyjnym (komentarz: Słowo "niemetaliczne" jest zbędne, bowiem trudno sobie wyobrazić włókna bazaltowe jako zbrojenie metaliczne. Sformułowane zadanie jest nierealne, bowiem ustalenie warunków optymalnych (czyli najlepszych) wymaga wykonania ogromnych badań; co najwyżej można określić wpływ udziału procentowego danych, konkretnych włókien, z ograniczeniem wnioskowania do zakresu wykonanych badań).
2. Odpadowe włókna bazaltowe spełniają funkcję zbrojenia rozproszonego i ograniczają katastroficzny proces zniszczenia elementu. Przy zastosowaniu takich włókien zniszczenie następuje w sposób kontrolowany (komentarz: zastosowanie słowa "katastroficzny" omówiłem wcześniej).
3. Obróbka termiczna prętów stosowana w celu wyodrębnienia z nich pręcików nie wpływa na wytrzymałość oraz strukturę pręta (komentarz: powyższa teza staje się czytelna dopiero po przeczytaniu pracy; powinna być zapisana w sposób bardziej zrozumiały).

### Treść rozprawy

Treść rozprawy zawarta jest w siedmiu zasadniczych rozdziałach, uzupełnionych wykazem cytowanej literatury (99 pozycji + 9 stron internetowych + 9 norm) oraz streszczeniami w języku polskim i angielskim.

Rozdział 1 (str. 5 – 6), zatytułowany "Wprowadzenie", zawiera krótkie wprowadzenie poświęcone idei recyklingu odpadów budowlanych. Autor cytuje tu szereg pozycji literatury (łącznie 29), przy czym praktycznie nie odnosi się do ich treści.

W rozdziale 2 (str. 6 – 40), zatytułowanym "Charakterystyka fibrobetonów", Autor zawarł opisy fibrobetonów, z podziałem na rys historyczny, typy stosowanych włókien, ich rolę w betonie i wytyczne do projektowania, opis mechaniki pracy i zniszczenia fibrobetonu, opis typowych badań normowych oraz przykładowe badania betonów z włóknami z recyklingu. Rozdział jest ciekawy, ale napisany w sposób dość chaotyczny i nierówny. Część zamieszczonych w nim opisów jest banalna – przykładowo, opisy ogólnie znanych procedur i wzorów normowych. Z kolei potencjalnie najciekawszy podrozdział, poświęcony badaniom





obcym, sprowadzony jest do opisu dwóch artykułów dotyczących zastosowania pociętych butelek z politereflanu etylenu (PET) oraz badań betonu zbrojonego kordem odzyskanym ze zużytych opon stalowych (2 artykuły). Tym samym, opisany rozdział, stanowiący niemal 30% objętości pracy, nie wnosi zbyt wiele do jej treści.

Rozdział 3 (str. 41), zatytułowany "Cele i tezy rozprawy", został już opisany i skomentowany w poprzednim punkcie recenzji.

W rozdziale 4 (str. 42 – 47), zatytułowanym "Część badawcza", Autor zawarł bardzo krótki opis metodyki badań (ograniczony do opisu czteropunktowych badań na zginanie beleczek z karbem i bez karbu, bez podania istotnej danej jaką jest długość trawersu). Następnie opisał defekty użytych w badaniach prętów GFRP oraz metody odzyskiwania z nich włókien do dalszych badań. Z trzech bardzo lakonicznie opisanych metod wybrane zostało przeciskanie rozgrzanych kawałków prętów przez układ wzajemnie krzyżujących się ostrzy, co pozwoliło na uzyskanie "włókien" o przekroju około  $1 \times 1$  mm i długości około 50 mm. Zastosowana metoda nie została dokładnie opisana – przykładowo, brakuje temperatury prętów podczas ich przeciskania przez ostrza oraz prędkości tego procesu. Nie jest też znana wyjściowa średnica prętów, mająca istotny wpływ na procentowy udział "włókien" o przekroju w przybliżeniu kwadratowym (pochodzących ze środkowej części danego pręta) i o niekompletnym przekroju (pochodzących z obwodowej części pręta). Jest to istotny parametr, bowiem opisane włókna różnią się zarówno strukturą powierzchni, jak i stosunkiem obwodu do przekroju poprzecznego.

Rozdział 5 (str. 48 – 53), zatytułowany "Badania własne", zawiera opis badań wytrzymałości na rozciąganie prętów BFRP o średnicach 6, 8 i 10 mm (co nie wyjaśnia wątpliwości podniesionych w poprzednim akapicie, bowiem nadal nie jest znany udział poszczególnych średnic w pozyskaniu włókien użytych w betonie). Autor określił wytrzymałość prętów na rozciąganie, sieczny moduł sprężystości oraz odkształcenia przy zniszczeniu. Z tej części tekstu nie wynika liczba użytych w badaniu próbek, można się jednak domyśleć, że badano po jednym pręcie dla każdej ze średnic. W tym samym rozdziale Autor przedstawił badania włókien uzyskanych z prętów BFRP, stosując próbki o przekroju "około  $4 \times 4$  mm" i długości 120 mm. Nie opisano tu sposobu uzyskania takich próbek (w domyśle – metodą przeciskania przez ostrza, jednak nie jest to pewne). Wyniki uzyskane w 16 badaniach były dość mocno zróżnicowane – niestety, Autor nie wykonał ich analizy statystycznej. W tabeli wyników widać też znaczne zróżnicowanie przekrojów poprzecznych próbek, od 15,1952 do 18,4938 mm<sup>2</sup>, świadczące o niedoskonałości ich produkcji. Pewne wątpliwości budzi tu sam sposób pomiaru powierzchni, bowiem wymiary liniowe musiały być zdejmowane z dokładnością 0,01 mm – pytanie tylko, w ilu przekrojach, na ile zatem tak dokładnie wyliczona powierzchnia jest wiarygodna (zwłaszcza, że przekroje

próbek na pewno nie były idealnymi kwadratami). Następnie opisany jest sposób wykonania zasadniczych próbek (beleczek  $100 \times 100 \times 400$  mm), z komentarzem, że po rozformowaniu były one przechowywane w stałych warunkach komorze klimatycznej, lecz bez podania tych warunków.

W rozdziale 6 (str. 54 – 102), zatytułowanym "Badania właściwości mechanicznych betonu", Autor przedstawił wyniki zasadniczych badań własnych. Były to, w kolejności:

- badania wytrzymałości na ściskanie betonu bez dodatku włókien (po 14 i 28 dniach), przy czym wynik wytrzymałości po 14 dniach zostały pokazany na zaledwie jednej próbce, a wyniki po 28 dniach na 6 próbkach, lecz bez obróbki statystycznej;
- badania wytrzymałości na ściskanie betonu z dodatkiem 1,0%, 1,5% i 2,0% włókien bazaltowych (bez opisu, czy jest to zawartość wagowa, czy objętościowa) oraz z dodatkiem 1,0% i 2,0% włókien stalowych (nie wiadomo jakich) – po 28 dniach, każdorazowo na 6 próbkach, bez obróbki statystycznej wyników; we wnioskach z tej części badań Autor zauważył odmienny charakter zniszczenia próbek (łagodniejszy w próbkach ze zbrojeniem) oraz spadek wytrzymałości na ściskanie betonu wraz ze wzrostem zawartości włókien; Autor opisał też "stosunkowo duży rozrzut wyników" w próbkach z włóknami bazaltowymi, nie dokumentując tego jednak statystycznie (pewną próbą pokazania rozrzutów jest rysunek 55, jednak ma on charakter poglądowy, a nie ścisły),
- badania modułu sprężystości na próbkach walcowych  $150 \times 300$  mm – każdorazowo na 6 próbkach, znowu bez analizy statystycznej; wyciągnięte z tych badań wnioski były następujące: wzrost zawartości włókien powoduje obniżenie modułu sprężystości (co wytłumaczone zostało różnicą w urabialności mieszanki i nierównomiernościami rozkładu włókien – lecz bez udokumentowania tych przypuszczeń); ponadto, Autor przedstawił wybrane wykresy cykli obciążenie-odciążenie, do zniszczenia, z powiększeniem zakresu powtarzania obciążeń – przy czym nie skomentował ich oraz nie wyjaśnił, czym kierował się wybierając tu 4 konkretne próbki (dwie bez zbrojenia i 2 z 2,0% włókien bazaltowych),
- badania wytrzymałości na rozciąganie metodą rozłupywania walców  $150 \times 300$  mm – na seriach 9 próbek z betonu bez dodatku włókien oraz z włóknami bazaltowymi w ilości 1,0% i 2,0%; w tym przypadku w tablicy wyników pojawiły się wyniki obróbki statystycznej, natomiast dziwi podanie wytrzymałości poszczególnych próbek z dokładnością zaledwie 0,1 MPa, podczas gdy znacznie wyższe wyniki wytrzymałości na ściskanie podano z dokładnością 0,01 MPa; Autor zauważył tu wzrost wytrzymałości na rozciąganie wraz ze wzrostem zawartości włókien oraz malejący przy tym współczynnik zmienności; w tablicy wyników podano masę próbek (nie mającą tu





znaczenia), nie podano natomiast wymiarów próbek i wartości sił niszczących (co pozwoliłoby na wyliczenie wytrzymałości z większą od podanej dokładnością,

- badania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, na beleczkach  $100 \times 100 \times 400$  mm bez karbu; beleczki zginano w teście czteropunktowym, bez podanej długości trawersu; zbadano elementy z betonu bez zbrojenia (6 sztuk) oraz ze zbrojeniem bazaltowym (1,0%, 1,5% i 2,0%) i stalowym (1,0% i 2,0%) – każdorazowo po 5 sztuk; wyniki znowu zestawiono bez obróbki statystycznej, pokazując jedynie średnie wartości (tu po raz kolejny należy odnieść się do bardzo skąpo i zgrubnie pokazanych wyników próby brazylijskiej, podczas gdy w badaniach zginania beleczki zostały pomierzone z dokładnością 0,01 mm, a siły z dokładnością 0,01 N); obserwacją z badań, dość oczywistą, były dwa możliwe schematy zniszczenia, wskutek zerwania włókien lub ich wyciągnięcia z betonu; uzupełnieniem tabeli z wynikami są uśrednione wykresy siła-przemieszczenie – trudne do zinterpretowania, bowiem poza oczywistym błędem opisu osi pionowych (w [kN], co skutkuje kosmicznymi wartościami sił – w tablicach wyników były one w [N]), nie wiadomo, skąd Autor wziął siły maksymalne, które w żaden sposób nie odpowiadają wartościom z wcześniejszych tablic; uzyskane wyniki są dość słabo skomentowane,
- badania skurczu w aparacie Amslera, na beleczkach  $100 \times 100 \times 500$  mm, dla wszystkich opisanych wcześniej wersji zbrojenia rozproszonego; każda z serii badawczych liczyła 9 próbek, a pomiary wykonywano w zerowym dniu, a następnie po 2, 7, 14, 28, 56, 84 i 165 dniach; wyniki podano z wyliczeniem wartości średnich, lecz bez obróbki statystycznej (w tablicach) oraz w formie zbiorczego wykresu; Autor skonkludował tu, że największy skurcz odnotował w próbkach bez zbrojenia, najmniejszy w próbkach ze zbrojeniem stalowym (przy czym zawartość 1% włókien stalowych dawała podobne wyniki jak 2% włókien bazaltowych), skurcz malał wraz ze wzrostem zawartości włókien oraz wykazywał minimalny przyrost po upływie 80 dni,
- badania nieniszczące, w tym mikroskany fragmentów prętów bazaltowych w warunkach naturalnych i po podgrzaniu do  $250^{\circ}\text{C}$  oraz mikroskany pojedynczego "pręcika" uzyskanego w opisanej wcześniej procedurze przeciskania przez układ ostrzy; obserwacje obejmowały tu zmiany rozmieszczenia włókien po podgrzaniu oraz budowę pojedynczego "pręcika" (w tym miejscu trzeba skomentować badania tychże "pręcików" w rozdziale 5, bowiem skan pokazuje, że ich przekrój jest daleki od prostokątnego – a taki, z ogromną dokładnością, przyjęto w ocenie wytrzymałości w rozdziale 5).

Rozdział 7 (str. 103 – 110) jest podsumowaniem całej pracy; Autor opisał tu w skrócie wykonane badania oraz uzyskane wyniki, a także obserwowane zależności i trendy (dokładniej i w sposób bardziej uporządkowany, niż w poszczególnych rozdziałach); odniósł

się też do tej pracy – można uznać, że zostały one potwierdzone, z ograniczeniami, jakie opisałem już wcześniej; trudno jednak nie skomentować pewnych, zbyt optymistycznych, wniosków, np. tego, że włókna bazaltowe nie tworzą "jeży" – w sposób oczywisty wynika to z ich kształtu i wielkości; generalnie, liczba przeprowadzonych badań, ograniczenie ich do jednej (nieznanej) receptury betonu, zastosowanie włókien ("pręcików") o wąskim zakresie wymiarów oraz wykonanie badań w skali laboratoryjnej (na bardzo małych elementach, w ściśle kontrolowanych warunkach wykonawstwa) nie uprawnia do formułowania wniosków o charakterze ogólnym; Autor, używając skądinąd nieprawidłowego określenia "najbardziej optymalny" w odniesieniu do zawartości włókien, robi to w sposób nieuprawniony wobec zakresu wykonanych badań; rozdział kończą zamierzenia Autora dotyczące przyszłych prac – po części dyskusyjne, lecz nie one są przedmiotem recenzji.

W poszczególnych rozdziałach, w opisach badań brakuje jakichkolwiek wiadomości o składzie/recepturze betonu – jedynie opisano, że uziarnienie kruszywa ograniczono do 8 mm. Jest to istotna wada, bowiem uniemożliwia powtórzenie badań lub wykonanie badań porównawczych. Podobnie, brakuje informacji dotyczących cech mieszanki betonowej, w tym jej urabialności – poza uwagą, że pogarszała się ona wraz ze wzrostem zawartości włókien. Nie ma też opisu lub nazwy handlowej stosowanych włókien stalowych.

### **Merytoryczna ocena rozprawy**

Na początku tej części recenzji stwierdzam, że ocena opiniowanej rozprawy doktorskiej Pana magistra inżyniera Tomasz Kowalika jest trudna, bowiem praca ma bardzo nierówny poziom. Zacznę jednak od pozytywów.

- Temat rozprawy jest trafnie dobrany, ma bowiem zarówno znaczenie poznawcze, jak i możliwość odniesienia do praktyki.
- Za trafnością wyboru tematu przemawia też fakt nakierowania badań na zagadnienia związane z szeroko pojętą ekologią – w tym przypadku w postaci możliwości recyklingu wadliwie wykonanych prętów zbrojeniowych typu BFRC, będących uciążliwym odpadem produkcyjnym.
- Ciekawym i nowatorskim pomysłem jest sposób wykorzystania wadliwych prętów BFRC, w tym w zakresie możliwości uzyskania z nich zbrojenia rozproszonego.
- Program badań został dobrany prawidłowo (w zakresie badanych cech), chociaż zbyt ubogo w zakresie samego betonu, gdzie ograniczono badania do jednej receptury.
- Autor wysnuł z uzyskanych wyników ciekawe wnioski jakościowe – jednak nie zawsze i na różnym poziomie szczegółowości.



- Autor dość dokładnie przedstawił wyniki poszczególnych badań – jednak z wymienionymi już wcześniej zastrzeżeniami dotyczącymi braku obróbki statystycznej większości wyników oraz bardzo nierównej ich dokładności, od bardzo zgrubnej do nierealnie szczegółowej.

Wśród osiągnięć poznawczych pracy wymienić należy:

- opracowanie metody prostego i skutecznego dzielenia prętów BFRP na drobne elementy (w pracy zamiennie nazywane "włóknami" albo "pręcikami") mogące pełnić funkcję zbrojenia rozproszonego w betonie,
- wykonanie ciekawych badań i opracowanie ich wyników – tu z licznymi, opisanymi już, zastrzeżeniami,
- wyciągnięcie wniosków o charakterze jakościowym i ilościowym (co też już skomentowałem),
- przebadanie wpływu zastosowanych temperatur technologicznych na strukturę prętów BFRP – jednostkowe, lecz pozwalające na uzyskanie ogólnych obserwacji.

Niestety, w pracy odnotowałem szereg niedostatków, część z których zasygnalizowałem już w opisie jej treści. Poniżej wymieniam najistotniejsze z nich, wymagające uzupełnienia i wyjaśnienia podczas obrony.

- Niezbyt udany przegląd stanu wiedzy, część którego polegała na cytowaniu norm badawczych lub innych źródeł niewnoszących zbyt wiele do tematu pracy. Opis badań obcych był bardzo ograniczony i obejmował zagadnienia luźno powiązane z tematem.
- Brak szeregu bardzo ważnych danych w zakresie prowadzonych badań, uniemożliwiający ich powtórzenie lub kontynuowanie przez innych badaczy. W szczególności dotyczy to receptury mieszanki betonowej, szczegółów technologicznych rozdrabniania prętów BFRP, typu i wymiarów stalowych włókien, ale także wielu pomniejszych danych.
- Ograniczenie badań do jednej (nieznanej) receptury betonu, co praktycznie uniemożliwia ocenę stosowalności włókien w praktyce. Podobny zarzut można podnieść do wymiarów samych włókien, gdzie również zastosowano jeden ich wymiar.
- Bardzo nierówna prezentacja danych z badań – czasem bardzo zgrubnie, a czasem z nierealną do uzyskania dokładnością. W tym zakresie praca zawiera wewnętrzne sprzeczności – na przykład niesłychanie szczegółowe zestawienie powierzchni przekroju "pręcików" BFRP *versus* obraz mikroskanu takiego "pręcika" pokazujący znaczną nieregularność jego przekroju.
- Brak odpowiedniej obróbki statystycznej większości wyników oraz liczne błędy ich prezentacji – przykładowo: wykresy z badań wytrzymałości na rozciąganie w próbie



zginania lub trudny do wyjaśnienia dobór wykresów w prezentacji badań modułu sprężystości.

- Bardzo nierówno opisane wnioski z poszczególnych badań oraz, częściowo, brak próby powiązania wyników różnych badań.

Wymienione tu zarzuty mają charakter bardzo ogólny, w większości bowiem dotyczą powtarzalnych sytuacji.

Z ogromną przykrością muszę stwierdzić, że w zakresie edytorskim oraz językowym praca stoi na niskim poziomie. Z powodu mnogości błędów odstąpię od szczegółowego ich wymieniania, jednak są wśród nich tak banalne jak pomyłki w numeracji rysunków i tablic (w tym nawet niepoprawione korekty), błędne wartości na wykresach i opisy osi, ale także ogrom różnego rodzaju błędów językowych i interpunkcyjnych, a nawet błędy formatowania stron. W pracy naukowej (jak zresztą w każdej innej) takie nagromadzenie błędów uważam za niedopuszczalne.

#### **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Podsumowując niniejszą recenzję na początku muszę stwierdzić, że rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Tomasz Kowalika pt. „Wpływ odpadowych włókien bazaltowych na właściwości mechaniczne fibrobetonu” ma bardzo nierówny charakter, z jednej strony bowiem zawiera ciekawe badania i wnioski, z drugiej natomiast ma liczne wady i niedociągnięcia.

W recenzji sformułowałem szereg uwag krytycznych o charakterze ogólnym, które należy rozpatrywać łącznie z bardziej szczegółowymi, zawartymi w opisach poszczególnych rozdziałów. Charakter i zakres tych uwag jest na tyle istotny, że Doktorant, podczas obrony, będzie się musiał ustosunkować do wszystkich z nich.

Pomimo poważnych uwag krytycznych, po rozważeniu zalet i wad recenzowanej pracy uważam ją jednak za spełniającą wymagania stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (właściwej dla postępowań wszczętych przed 30 kwietnia 2019 r.).

Tym samym wnoszę o dopuszczenie Pana magistra inżyniera Tomasz Kowalika do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

  
.....  
prof. dr hab. inż. Jacek Hulimka