

Dr hab. inż. Anna Halicka, prof. PL

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Joanny Laskowskiej-Bury

pt.

### **”WYBRANE CECHY FIZYKO-MECHANICZNE FIBROKOMPozyTU WYTWORZONEGO NA BAZIE KRUSZYWA ODPADOWEGO”**

przygotowanej pod kierunkiem dr hab. inż. Wiesławy Głodkowskiej, prof. PK

#### **1. Problem naukowy i charakter dysertacji**

Recenzowana dysertacja doktorska stanowi element wieloletnich kompleksowych prac zmierzających do racjonalnego zastosowania piasku stanowiącego pozostałość po hydroklasyfikacji kruszywa żwirowo-piaskowego. Piasek ten zalega w dużych ilościach na odkładach na Pomorzu. Kolejne prace naukowe zmierzały i zmierzają do stosowania go do wytwarzania piaskobetonu, a dla poprawy cech tego materiału dodawane jest zbrojenie rozproszone.

Podjętym w dysertacji problemem naukowym było wykazanie, że fibrokompozyt - piaskobeton ze zbrojeniem rozproszonym, o wybranej na podstawie danych literaturowych, uznanej za optymalną, zawartości włókien stalowych, ma cechy fizyko-mechaniczne materiału konstrukcyjnego nie ustępujące cechom betonu zwykłego, a nawet je przewyższające. Praca ma charakter badawczy. Jej istotą są badania cech fizycznych i mechanicznych fibrokompozytu oraz analiza statystyczna uzyskanych wyników.

Ważnym, nowym elementem naukowym, jest próba wykorzystania standardowej próbki płytowej (stosowanej do badania rozproszenia energii) jako próbki służącej do badania wytrzymałości resztkowych.

#### **2. Zawartość i układ dysertacji**

Dysertacja składa się z dwóch tomów. Są to: tom główny, zawierający treść pracy (liczący 198 stron) i tom dodatkowy (liczący 52 strony), zawierający załączniki z protokołami badań.

Tom pierwszy składa się z 163 stron tekstu podstawowego, który poprzedzono spisem treści, streszczeniami w języku polskim i angielskim oraz wykazem skrótów, symboli i oznaczeń. Pracę kończą: bibliografia, spis rysunków i spis tablic.



W pracy wyróżnić można kilka części. Są to:

1. Część wstępna, zawierająca ogólne wprowadzenie do tematyki (rozdział 1), genezę, przedmiot, cel i tezy pracy (rozdział 2);
2. Studia literaturowe (rozdział 3), których przedmiotem są:
  - piaski stanowiące pozostałość po hydroklasyfikacji kruszywa żwirowo-piaskowego na Pomorzu,
  - włókna do zbrojenia betonu,
  - ogólna charakterystyka kompozytów budowlanych z włóknami rozproszonymi,
  - wybrane cechy betonu zwykłego,
3. Wstęp do opisu badań własnych (rozdział 4), zawierający:
  - program i zakres badań, w tym ustalenie na podstawie danych literaturowych najkorzystniejszej zawartości włókien stalowych,
  - charakterystykę użytych materiałów (piasek, pył krzemionkowy, cement, plastyfikator, woda, włókna stalowe),
  - opis przygotowania próbek i przebiegu badań,
4. Opis metodyki badań, stanowisk badawczych, a także zastosowanych narzędzi statystycznych (rozdział 5),
5. Zestawianie wyników badań oraz ich analiza statystyczna, wraz z własną propozycją wyznaczania wytrzymałości resztkowych fibrokompozytu na podstawie badań próbki płytowej (rozdział 6),
6. Podsumowanie i wnioski (rozdział 7),
7. Wskazanie kierunków dalszych prac (rozdział 8),
8. Bibliografia zawierająca 200 pozycji anglojęzycznych (większość) i polskojęzycznych, przywołane normy, instrukcje i wytyczne (60 pozycji) oraz źródła internetowe (15 pozycji). Wśród cytowanych prac są 34 publikacje autorów z Politechniki Koszalińskiej zajmujących się betonami drobnokruszywowymi z dodatkiem włókien stalowych, w tym 7 prac, których współautorką jest doktorantka.

### **3. Tezy i wnioski dysertacji**

Doktorantka postawiła dwie tezy. Pierwsza dotyczy tego, że użyty piasek może stanowić kruszywo dla fibrokompozytów, a druga, że możliwe jest dobranie składu fibrokompozytu tak, aby jego właściwości spełniały wymagania stawiane betonom konstrukcyjnym.



Tezy te, moim zdaniem, należałoby nieco zmodyfikować. Obydwie bowiem zostały już udowodnione we wcześniejszych pracach związanych z tematem fibrokompozytu na bazie piasku uzyskanego z hydroklastyfikacji mieszanek żwirowo-piaskowych (np. pozycje bibliografii 44-48, 75, 99-101, 104, 149-150).

Myślę, że z tego powodu, przy zrealizowanym zakresie badań i dużym wkładzie własnym, jakim jest autorska propozycja wykorzystania próbki płytowej, tezy należało postawić inaczej. Można było również, zgodnie z *Ustawą o stopniach naukowych* ..... z dnia 14.marca 2033 z późniejszymi zmianami, pozostać przy sprecyzowaniu jedynie podjętego problemu badawczego, bez artykułowania tez.

W podsumowaniu do dysertacji doktorantka czytelnie pokazała swoje osiągnięcia, ale wnioski niosą za sobą konsekwencję postawionych tez (patrz uwaga wyżej).

Na zakończenie pracy doktorantka sformułowała kierunki dalszych badań, świadczące o jej perspektywicznym spojrzeniu i chęci kontynuacji podjętej drogi naukowej.

#### **4. Merytoryczna ocena pracy**

##### 4.1 Ocena ogólna rozprawy

Recenzowana rozprawa wskazuje na opanowanie przez doktorantkę warsztatu badań laboratoryjnych oraz statystycznej analizy ich wyników. Wskazuje także na umiejętność twórczego podejścia do zastanej wiedzy, czego dowodem jest adaptacja istniejących próbek płytowych przeznaczonych pierwotnie do badania zdolności rozpraszania energii, jako próbek do badania wytrzymałości resztkowych. Ten właśnie element uznaję za najbardziej interesujący w dysertacji.

Szczegółowa ocena merytoryczna dysertacji zostanie przedstawiona poniżej poprzez ocenę poszczególnych jej części. Zawarłam w niej pytania i uwagi, których celem jest dalsze doskonalenie warsztatu naukowego doktorantki.

##### 4.2 Ocena części studialnej

Zagadnienia poddane studiom literaturowym można ogólnie uznać za właściwe, choć nie wyczerpują one palety zagadnień wprowadzających do tematyki dysertacji.

Brakuje informacji na temat cech i komponowania składu piaskobetonu. Wszak to właśnie on jest modyfikowany włóknami stalowymi.

Brakuje także podsumowania części studialnej, z którego wynikałaby konieczność prowadzenia dalszych badań i która uzasadniałaby przyjęty program badań doktorantki.



Uwagi szczegółowe:

- Z podpisów na rys.3.1-3.7 zawierających fotografie różnych obiektów budowlanych nie wynika, dlaczego znalazły się one w pracy.
- Omówiono wpływ zawartości włókien na wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie fibrobetonów (rys.3.8, 3.9) bez nawiązania do betonów, a zwłaszcza piaskobetonów bez włókien.
- Str. 33<sup>7-5</sup> - W opisie rys. 3.20 napisano, że w przypadku włókien haczykowatych „...*wyraźnie więc widać, że ... potrzebna jest kilkukrotnie większa siła niż do wyciągnięcia włókna prostego...*”, tymczasem z rysunku wynika, że siła ta jest jedynie o ok. 1/3 wyższa.
- Str.34<sup>9</sup> - Nie jest jasne, czy układ włókien oznaczony literą (c) jest płaski czy przestrzenny, w opisie są obydwa określenia.
- Str. 37<sup>13</sup> - MC2010 nie jest przepisem w Polsce obowiązującym.
- Rys. 3.24 - Nie wyjaśniono, czym jest  $\delta$  (nie jest to raczej ugięcie, a takie objaśnienie widnieje w spisie oznaczeń).
- Str. 37<sup>3</sup> - Na rys. 3.25 są inne symbole niż wprowadzone w tekście  $f_{R1}$  i  $f_{R3}$ .
- Rys.3.26 - Nie wyjaśniono, czym jest  $w$  oraz  $w_u$  (nie ma ich też w spisie oznaczeń).
- Str. 47 - Zapis w wierszu 5-6 od góry i dalszych sugeruje, że pełzanie jest jedynie zjawiskiem towarzyszącym skurczowi, tymczasem może ono wystąpić niezależnie od skurczu.
- Str. 47<sup>11</sup> - Zjawiskiem pełzania są wywoływane nie naprężenia tylko odkształcenia.

### 4.3. Ocena części badawczej

#### 4.3.1. Program badań

W ramach pracy doktorskiej autorka wykonała szerokie badania laboratoryjne fibrokompozytu wykonanego na bazie piasków pochodzących z hydroklasyfikacji mieszanki żwirowo-piaskowej. Badane były składniki (wytrzymałość cementu na ściskanie i zginanie), mieszanka (gęstość i konsystencja Ve-Be) oraz cechy fibrokompozytu – mechaniczne po 7, 14, 30 i 90 dniach (wytrzymałość na ściskanie na kostkach i walcach, wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu, wytrzymałości resztkowe, wytrzymałość na ścinanie na beleczkach, statyczny moduł sprężystości, zdolność do pochłaniania energii), reologiczne (skurcz aparatem Amslera i ekstensometrem oraz pełzanie przy użyciu pełzarek) oraz fizyczne (gęstość pozorna, mrozoodporność, mrozoodporność z udziałem soli odladzających, odporność na ścieranie, wodoprzepuszczalność). Badania wykonane zostały



na dużej liczbie próbek (badania wytrzymałościowe na 30 próbkach każde badania, pozostałe – 5-30 próbek).

W programie badań doktorantka przewidziała jedynie jeden skład fibrokompozytu. Skład matrycy kompozytu (zawartość cementu, piasku, mikrokrzemionki, plastyfikatora i wody) przyjęty został przez autorkę na podstawie wcześniejszych prac nad tym kompozytem w ramach rozprawy doktorskiej oznaczonej w bibliografii numerem [104]. Na podstawie analizy zawartych tam wyników badań doktorantka uznała, że najkorzystniejsza zawartość włókien stalowych wynosi 1,2% objętościowo (co jest wartością mieszczącą się w przedziale zawartości optymalnych podawanych w literaturze przedmiotu). Dla takiej też zawartości włókien doktorantka wykonała wszystkie badania.

Podsumowując program badań - jego mocną stroną jest szeroki wachlarz badań i duża liczba próbek, natomiast słabością jest ograniczona możliwość interpretacji wyników oraz ich uogólnienia, wynikająca ze:

- zbadania tylko jednego rodzaju włókien i jednej ich zawartości,
- braku własnych badań piaskobetonu bez włókien, co uniemożliwia wykazanie efektywności poprawy cech matrycy przez dodanie włókien (w analizach autorka miejscami korzystała z wyników pracy [104]),
- braku własnych badań betonu na dwóch-trzech rodzajach kruszyw, chociażby mieszanki żwirowo-piaskowej poddawanej hydroklasyfikacji - przecież ideą było uzyskanie materiału konstrukcyjnego, który mógłby mieć zastosowanie takie jak beton kruszywowy (w analizach doktorantka dokonywała jedynie porównań z zapisami normy EC2-1-1).

Dodatkowe uwagi szczegółowe:

- Str.60<sub>3</sub> - Domieszka upłynniająca nie powoduje zmniejszenia stosunku wodno-cementowego, ale umożliwia zmniejszenie tego stosunku.
- Tytuł tablicy 4.5 jest nieprecyzyjny - konsystencja i wytrzymałość fibrokompozytu nie charakteryzują włókien, są one jedynie pochodną właściwości i zawartości włókien. Dlatego należałoby podać cechy matrycy i zawartość włókien, dla której wyniki podane w tablicy uzyskano. Ponadto w dwóch ostatnich wierszach podano chyba „wytrzymałość resztkową”, a nie „wpływ na wytrzymałość”.
- Str. 86<sub>2</sub> - Czym jest  $H$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  we wzorze 5.11?
- Str. 88<sup>6</sup>, 88<sup>9</sup> - Czym jest  $H_0$ ,  $H_1$ ,  $\beta_i$ , we wzorach 5.15 i 5.16?



#### 4.3.2. Analiza wyników badań

Doktoranta zastosowała szeroką analizę statystyczną. Niezbędną liczbę próbek wyznaczyła na podstawie badań wstępnych analizowanych testem *t-Studenta*. Ze względu na to, że serie próbek powstawały z różnych zarobów, autorka analizując wyniki badań najpierw potwierdzała statystycznie ich przynależność do jednej populacji poprzez ocenę rozbieżności wartości średnich testem *t-Studenta*. Następnie sprawdzała testem *Shapiro-Wilka*, czy uzyskany rozkład wyników jest normalny. Dla odrzucenia wyników obarczonych błędami grubymi stosowała test *Dixona*. Dla określenia zależności między pomiędzy rozpatrywanymi cechami stosowała analizę korelacyjną, a równania regresji wyznaczała przy użyciu estymacji nieliniowej używając programu *Statistica*. Do weryfikacji istotności funkcji regresji stosowała test *F-Fishera-Snedocora*.

Zastosowanie tak szerokiej analizy jest niewątpliwie mocną stroną pracy.

Podstawową wątpliwość recenzenta budzi sposób wyboru krzywych regresji. Doktorantka używała postaci funkcji opisujących zachowania betonu zwykłego lub betonu wysokiej wytrzymałości, modyfikując jedynie znajdujące się tam współczynniki, parametry, wykładniki. Moim zdaniem dodatek włókien może zmieniać nie tylko wykładniki, ale także postać funkcji. Pewną niekonsekwencją jest też stosowanie dla tego samego materiału, jakim jest fibrokompozyt, raz funkcji dedykowanych do betonu zwykłego (np. dla przyrostu wytrzymałości na ściskanie zastosowany został wzór EC2-1-1), a raz wzorów dedykowanych dla betonów wysokiej wytrzymałości (np. przyrost wytrzymałości na rozciąganie opisany został wzorem z pracy [197]). Ponadto wyprowadzone zależności są ważne jedynie dla jednej zawartości włókien (1,2%) i jednego rodzaju włókien.

Pytania i uwagi:

1. Co oznaczają poszczególne punkty wykresu 6.4 pokazującego zależność „wytrzymałość kostkowa – wytrzymałość walcowa”? Czy są to wartości średnie z poszczególnych serii (bo raczej nie są to pojedyncze wyniki)?

W skład serii próbek danego typu wchodziły próbki z różnych zarobów (str.94<sup>7</sup>). Czy z jednego zarobu wykonywane były próbki jednego typu, czy też próbki kilku typów?

Czy wytrzymałość kostkowa i walcowa, obrazowane konkretnym punktem wykresu 6.4, badane były na próbkach pochodzących z tego samego zarobu?

Ponadto uzyskana zależność ważna jest jedynie dla zawartości włókien 1,2% i stwierdzenie, że „może być przydatna ... dla fibrokompozytów drobnokruszywowych” powinno być doprecyzowane.



2. W tablicy 6.11 doktoranta sprawdzała, czy proponowane w literaturze równania pozwalające na szacowanie wytrzymałości fibrokompozytu w zależności od zawartości włókien odpowiadają wartościom zbadanym. Na str. 99 stwierdziła, że żadne z nich nie jest odpowiednie dla wyników badań. Nie napisane zostało wprost, że chodzi o cytowane badania [104], a nie własne badania doktorantki. Szkoda także, że doktorantka nie pokusiła się o próbę ustalenia własnej zależności.
3. Konieczność korekty zależności normowej, dotyczącej przyrostu wytrzymałości na ściskanie fibrokompozytu w czasie (str. 100-101), jest dyskusyjna. Przyrost ten zależy głównie od rodzaju cementu (tempa przyrostu wytrzymałości i jego wytrzymałości 28-dniowej) i nie zależy od tego, czy dodamy włókna, czy nie. Proszę zauważyć, że przebieg krzywej EC2-1-1 i krzywej autorki są bardzo podobne, a dla wytrzymałości 90 dniowych wyniki badań są bliższe krzywej normowej niż krzywej autorki.
4. Str. 109<sub>6-1</sub> i 113 - Moim zdaniem nie można do opisu zależności „*wytrzymałość na ściskanie - wytrzymałość na rozciąganie*” fibrokompozytów stosować wyrażen w takiej postaci jak dla betonów, nawet wysokowartościowych. Sama autorka we wstępie napisała, że podstawowa korzyść z dodatku włókien leży we wzroście wytrzymałości na rozciąganie, podczas gdy wytrzymałość na ściskanie tak wyraźnie nie rośnie. Zatem przez dodatek włókien zachwiana jest omawiana relacja i niekoniecznie ma ona taką postać funkcyjną (nawet ze zmienionymi współczynnikami) jak dla betonów bez włókien (świadczyć może o tym współczynnik korelacji  $r = 0,76$  na rys. 6.11, podczas, gdy przy innych przypadkach autorka uzyskiwała wartości powyżej 0,90).
5. Na jakiej podstawie przyjęto postać funkcyjną zależności „*wytrzymałości resztkowe – wytrzymałość na ściskanie*” (rys. 6.17 i 6.19) oraz „*wytrzymałości resztkowe – wytrzymałość na rozciąganie*” (rys. 6.18 i 6.20)? Dlaczego jest to funkcja kwadratowa i dlaczego w przypadku obu wytrzymałości przyjęto tę samą postać funkcji kwadratowej? Zależność „*wytrzymałość na ściskanie – wytrzymałość na rozciąganie*” ma postać funkcji hiperbolicznej (6.4), a więc można spodziewać się, że zależności wytrzymałości resztkowych od dwóch różnych wytrzymałości powinny mieć postać różną.
6. Co było podstawą przyjęcia postaci funkcji opisującej zależność wytrzymałości na ścinanie od wytrzymałości na ściskanie (rys.6.22), a także zależność modułu sprężystości od wytrzymałości (rys.6.24) i odporności na ścieranie od wytrzymałości (rys.6.27)?
7. Na podstawie wskaźnika zmienności wielu z wykonanych badań (np. str. 95, 129, 134, 141) jakość fibrokompozytu oceniono jako doskonałą. Czy możliwe jest uzyskanie takiej samej doskonałej jakości w warunkach przemysłowych?



8. Str. 101<sub>3</sub> - Co autorka rozumie pod pojęciem „*duża wartość tangensa kąta nachylenia*”?  
Jaka byłaby wartość „*mała*”?

Ponadto na 131<sub>9</sub> napisano, że zbadany moduł jest niższy niż przewidywany normą EC2-1-1. Jak ma się to stwierdzenie do zdania na str. 101<sub>2</sub> „...*duża wartość tangensa kąta nachylenia krzywej potwierdza dużą wartość modułu sprężystości fibrobetonu...*”?

9. Zależność MC 2010 w tablicy 6.42 dotyczy betonu, a nie fibrobetonu – to powinno być jasno napisane (podobnie wzory ACI). Zacytowany wzór MC 2010 jest prawdziwy jedynie dla kruszywa kwarcytowego, w przypadku innych kruszyw (z pewnością także przy dodatku włókien) jest modyfikowany współczynnikiem  $\alpha_E$ .

10. Str. 137<sub>12</sub> – autorka określiła stopień mrozoodporności badanego fibrokompozytu „*na poziomie F50*” na podstawie stwierdzenia, że ubytek wytrzymałości 1,64% i ubytek masy 0,22% przy 50 cyklach zamrażania/odmrażania jest niższy niż wartości graniczne (odpowiednio 20% i 5%). Myślę, że stopień mrozoodporności jest wyższy niż F50, bowiem ubytki są o rząd wielkości niższe niż wartości graniczne. Jeśli nie badano próbek przy większej liczbie cykli należało napisać, że stopień mrozoodporności jest równy co najmniej F50.

11. Str. 145 i 146 (tablica 6.57 i tekst poniżej) - Doktorantka wykazała, że obliczone odkształcenia skurczowe „...*odbiegają od otrzymanych w badaniach własnych...*”.

Tak być musiało i porównanie zbadanych odkształceń skurczowych fibrokompozytu z obliczonymi według wzorów dla betonu zwykłego, a nawet betonu wysokowartościowego było niecelowe. Z jednej strony, jedną z właściwości, którą włókna zmieniają najbardziej jest właśnie skurcz. Z drugiej strony, piaskobeton ma większy skurcz niż beton (doktorantka sama to zauważyła – str. 143<sup>9-10</sup>).

Prawidłowe jest natomiast porównanie przez doktorantkę uzyskanych wyników do obliczeń metodami uwzględniającymi istnienie włókien. Nie podała ona jednak, czy metody te dedykowane są dla włókien prostych czy zakończonych haczykami. Czy istnienie haczyków ma wpływ na odkształcenia skurczowe?

Dodatkowe uwagi szczegółowe:

- Czy w tablicach 6.1, 6.2 podano wartości średnie? Nie napisano tego jasno.
- Str. 93 - Czy odkształcenie na rys. 6.2 jest podane rzeczywiście w promilach?
- Tablice 6.11 i 6.24:
  - Skąd pochodzi wartość  $f_{cy} = 40,2$  MPa? Nie znalazłam takiej wartości w wynikach badań),



- $RI_v$  powinno być zapisane w postaci  $V_f \frac{L_f}{\phi_f}$ .
- Str. 99 i 117 - Do której serii należały próbki przedstawione na rys. 6.5b oraz 6.14b?
- Na rysunku Rys.6.8 dobrze byłoby umieścić także krzywą wykreśloną według wzoru będącego propozycją autorki. W legendzie należałoby podać, co oznaczają granatowe kwadraty oraz należałoby jasno napisać, że wzór EC2-1-1 dotyczy betonu, a nie fibrokompozytu, co sugeruje podpis rysunku. Norma, o której mowa to PN-EN 1992-1-1, a nie PN-EN 1990-1-1, jak napisano.
- W przeciwieństwie do pozostałych wzorów zestawionych w Tabelicy 6.16, własna propozycja dotyczy jedynie fibrokompozytu o zawartości włókien 1,2%, co należało jasno napisać.
- Str. 113<sup>5-6</sup> - Autorka nie relacjonuje nigdzie badań piaskobetonu bez włókien, na jakiej zatem podstawie sformułowała stwierdzenie, że „...w przeprowadzonych badaniach fibrokompozytu wzrost ten wyniósł 120% w stosunku do kompozytu bez włókien...”
- Str. 113<sub>2</sub> - Napisano, że na rysunku 6.12  $r = 0,98$ , podczas gdy na rysunku jest  $r = 0,97$ .
- Str. 115<sub>3</sub> - Granica proporcjonalności charakteryzuje „fibrokompozyt”, a nie „mieszankę fibrokompozytu”.
- Str. 159<sub>13</sub> - Chodzi chyba o „wartość obciążenia” a nie o „siłę niszczącą”.

#### 4.3.3. Autorska propozycja wykorzystania próbki płytowej do wyznaczania wytrzymałości reszkowych fibrobetonu

Za najbardziej twórczy element dysertacji uznaję próbę opracowania własnej procedury służącej do wyznaczania wytrzymałości reszkowych.

Wyniki badań wytrzymałości reszkowych badane standardowo na beleczkach obciążone są dużym rozrzutem. Potwierdziły to także wyniki badań doktorantki, która stwierdziła, że dzieje się tak z powodu małego obszaru załamań w belce. Aby zwiększyć ten obszar, wykorzystano próbkę płytową używaną standardowo do badania zdolności pochłaniania energii fibrokompozytu w teście zginania dwuosioowego. Wyniki badań zginania próbki płytowej (pole pod krzywą „obciążenie - ugięcie w środku płyty”) pozwoliły obliczyć, zgodnie z regułami normowymi, zdolność pochłaniania energii przez badany fibrokompozyt. Następnie doktorantka zmodyfikowała sposób pokazania wyników sporządzając wykres „ugięcie w środku płyty - pochłonięta energia”, pozwalający na odczytanie (dla ugięcia równego 25 mm) zdolność pochłaniania energii.



Istota propozycji doktorantki polega na powiązaniu energii pochłoniętej przez belkę przy zginaniu przy ugięciach odpowiadających szerokości rysy CMOD, dla których wyznacza się wytrzymałości resztkowe, z energią pochłanianą przy zginaniu płyty przy ekwiwalentnych ugięciach. Następnie na podstawie ustalonej energii pochłanianą w belce określa się wartość obciążenia odpowiadającego kolejnym energiom i w końcu – wytrzymałości resztkowe.

Jednak opis tej metody należałoby uszczegółowić. Dla czytelnika nie jest bowiem jasne:

1. Jak została obliczona energia zginania belki  $E_b$  (domyślam się, że jest to również pole pod krzywą „obciążenie - ugięcie belki”).
2. Czy wartości w tabelicy 6.66 są wartościami średnimi dla kilku belek, czy dla jednej (jeśli jednej to której)? Podobnie, czy wartości na rys. 6.40 odnoszą się do jednej belki (której?), czy są to wartości średnie?
3. Co oznaczają poszczególne punkty na wykresie 6.40? Czy każdy punkt dotyczy innej wartości ugięcia? Jeśli tak to dlaczego jest 8 punktów skoro w tabelicy 6.66 są cztery wartości CMOD? Na rysunku nie widać punktów, które miałyby takie energie jak w tabelicy 6.66.
4. Jakie są podstawy do stwierdzenia na str. 164<sup>7-4</sup>: „...Ustalono, że energiom zginania belki ( $E_b$ ) reprezentującym szerokości rozwarcia rysy CMOD = 0,5; 1,5; 2,5; 3,5 mm ..... odpowiadają energie zginania płyty ( $E_p$ ) przy ugięciu równym odpowiednio  $\delta_p = 3,5; 10; 15; 21$  mm” ?

Dodatkowe uwagi szczegółowe:

- Str. 158<sup>12</sup> – jest powołanie na poz. [240], winno być [241]
- Str. 159<sup>8</sup> i rys. 6.36 - doktorantka porównywała swoje wyniki z metodą obliczeniową Ghaliba . Dobrze byłoby przytoczyć jej podstawie założenia.
- Str. 159<sup>13</sup> - Chodzi chyba o „wartość obciążenia” a nie o „siłę niszczącą”.
- Rys.6.37 – czy rysunek przedstawia zależność dla uzyskaną ze średnich wyników dla płyt, czy też dla pojedynczej płyty. Należało to jasno napisać (jeśli jest to pojedyncza próbka, to która?).

## 5. Ocena strony redakcyjnej pracy

Układ dysertacji jest czytelny i nie budzi zastrzeżeń. Praca napisana jest dobrym językiem i jest czytelna. Razi nieco powtarzanie pewnych fraz przy opisie wyników kolejnych badań. Rysunki i tablice wykonane są starannie.

W niewielkiej liczbie występują „literówki” i niewielkie uchybienia stylistyczne (np.: 7<sub>6</sub> – jest *ściranje* winno być *ścieranie*, 10<sub>18</sub> – jest *przy zastosowaniu* winno być *przez*

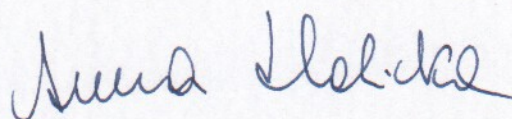


zastosowanie, str. 19<sub>2</sub> – jest w winno być *a*, 23<sup>5</sup> – jest *chemiczną* winno być *chemiczna*, 31<sup>7</sup> – jest *zależność* winno być *zależności*, 32<sup>5</sup> – jest *lepsza* winno być *lepszą*, 35<sup>4-5</sup> – nieprawidłowe użycie słowa *definiować* (*określenie* nie *definiuje*, *określenie*, czy lepiej *pojęcie* – *oznacza*), 35<sub>17</sub> – jest *tematyką* winno być *tematykę*, 36<sub>3-1</sub> i 36<sup>1</sup> – przymiotniki oznaczające kraj pochodzenia pisane powinny być z małej litery, 38<sub>7</sub> – w opisie rys. 26 symbole  $F_{Fts}$  i  $F_{Ftu}$  pisane są z dużej litery podczas, gdy na rysunku – z małej, 44<sub>7</sub> – beton nie jest *ciałem* tylko *materiałem*, 95<sup>6</sup>, 108<sup>3</sup>, 126<sub>8</sub>, 138<sub>6</sub> - jest *normalnych* zamiast *normalnym*, 97<sub>15</sub> - *powyższym*, a nie *poniższym*, 99<sub>3</sub> – nie *moment zniszczenia przebiega mniej gwałtownie*, ale *zniszczenie przebiega mniej gwałtownie*, 107<sub>6</sub> - brakuje *jako*, winno być *jako dobrą*, 135<sup>10</sup> – jest *populacje* winno być *populację*, 136<sup>1</sup> – jest *statystyki* winno być *statystyka*, 180<sup>10</sup> – jest *paskobetonu* winno być *piaskobetonu*, 187<sup>17</sup> – jest *fibet* winno być *fiber*, w tablicy 6.67 powołano rys.6.41, a winno być 6.40).

## 6. Wniosek końcowy

Przedstawiona praca jest niewątpliwie dziełem oryginalnym. Doktorantka wykazała się wiedzą teoretyczną z zakresu podjętej tematyki. Udowodniła umiejętność programowania i realizacji badań laboratoryjnych oraz zaawansowanej analizy ich wyników. Wykazała się też twórczym podejściem do zastanej wiedzy. Zatem praca świadczy o opanowaniu przez doktorantkę warsztatu badań naukowych.

Ostatecznie stwierdzam, że przedłożona praca mgr inż. Joanny Laskowskiej-Bury pt. *Wybrane cechy fizyko-mechaniczne fibrokompozytu wytworzonego na bazie kruszywa odpadowego* spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”. Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Lublin dn. 28.02.2017