

18 -09- 2018

Kielce dn. 15 września 2018 r.

Dr hab. inż. Barbara Goszczyńska, prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Wytrzymałości Materiałów, Konstrukcji Betonowych i Mostowych
Al. Tysiąclecia P.P. 7, 25-314 Kielce

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka ZIARKIEWICZA „Doświadczalna ocena wybranych metod wymiarowania belek z fibrokompozytu drobnokruszywowego”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Uchwała Rady Wydziału Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji Politechniki Koszalińskiej z dnia 19 czerwca 2018 r. (zgodnie z pismem z dnia 29 czerwca 2018 r. Dziekana Wydziału dr hab. inż. Wiesławy Głodkowskiej, prof. nadzw.)

2. Przedmiot oceny

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska opracowana przez mgr inż. Marka Ziarkiewicza na temat:

„Doświadczalna ocena wybranych metod wymiarowania belek z fibrokompozytu drobnokruszywowego”

Promotorem pracy jest Pani dr hab. inż. Wiesława Głodkowska, prof. PK. Praca powstała na Wydziale Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji. Rozprawa doktorska liczy 148 stron tekstu plus 22 strony spisów: treści, ważniejszych oznaczeń i zestawienie bibliografii zawierającej 201 pozycji plus 25 norm, instrukcji i wytycznych oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Do pracy dołączono 6 załączników, liczących 65 stron, które przedstawiają charakterystykę zastosowanej stali zbrojeniowej oraz wyniki z przeprowadzonych badań: wytrzymałości na ściskanie zastosowanych kompozytów oraz granicy proporcjonalności i wytrzymałości resztkowej, stali zbrojeniowej, zarysowania i ugięć badanych belek. Praca zawiera 92 rysunki i 40 tablic.

3. Charakterystyka rozprawy

Przedmiotowa praca ma charakter badawczo-teoretyczny i składa się z 8 rozdziałów, w których:

- w rozdziale 1 tj. w krótkim wprowadzeniu Doktorant przedstawił problemy związane z rosnącym wykorzystaniem betonu jako materiału budowlanego w aspekcie zapotrzebowania na kruszywo grube stanowiące jego podstawowy składnik. Z jednej strony problemem są zbyt małe złoża kruszywa w północnej Polsce powodujące deficyt tego składnika do betonu, z drugiej zaś rosnące hałdy odpadowego kruszywa drobnego powstające w wyniku procesu technologicznego

oddzielania z istniejących złóż frakcji grubych od drobnych, co powoduje konieczność szukania sposobu ich zagospodarowania. W Katedrze Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu Politechniki Koszalińskiej od ponad 10 lat prowadzone są badania związane z próbą zastosowania odpadowego kruszywa drobnego jako składnika kompozytu cementowego spełniającego wymagania betonu zwykłego. W wyniku badań stwierdzono, że w skład mieszanki betonowej powinny wchodzić włókna stalowe i w ten sposób powstał fibrokompozyt drobnokruszywowy, który został szeroko przebadany. Na podstawie badań stwierdzono, że materiał ten nadaje się również do wykonania elementów konstrukcyjnych. Jednak ze względu na brak zweryfikowanych zaleceń dotyczących projektowania elementów konstrukcyjnych, zastosowania fibrokompozytu, w tym na bazie piasków odpadowych, ograniczały się do wykonywania posadzek przemysłowych, nawierzchni dróg, a następnie elementów konstrukcyjnych tuneli, płyt stropowych, itp. Główną przyczyną tego stanu jest trudny do opisu materiał, charakteryzujący się dużą niejednorodnością struktury wynikającą już z niejednorodności samego kompozytu cementowego i dodatkowo spotęgowaną zastosowaniem włókien stalowych, których ilość, kształt i rozmieszczenie wpływają na cechy materiału konstrukcyjnego. Za sprawą swojej pozasprężystej pracy fibrobeton jest bardzo interesującym materiałem, którego zastosowanie do konstrukcji zbrojonej tradycyjnie daje efekt zwiększenia jej nośności, zmniejszenia szerokości rys, a także zmniejszenia odkształceń reologicznych, szczególnie skurczu. Proponowane w literaturze, zaleceniach, a obecnie w przepisach normowych metody obliczania nośności zginanych belek fibrobetonowych, szczególnie wykonanych na bazie piasków odpadowych, nie dają satysfakcjonującej zgodności z wynikami badań eksperymentalnych, co było przyczynkiem do podjęcia przez Doktoranta przyjętej w rozprawie tematyki.

- rozdział 2 jest kontynuacją rozdziału 1, w którym przedstawiono szerzej problem braku odpowiedniej ilości kruszywa grubego do betonu, szczególnie w regionach Polski północnej oraz metody pozyskiwania kruszywa grubego poprzez hydroklasyfikację, której efektem są hałdy materiału odpadowego, będącego wypłukanym piaskiem pozbawionym frakcji grubych. Wykorzystanie piasku odpadowego do betonu konstrukcyjnego może być doskonałym sposobem zagospodarowania powstających hałd w miejsce poddania ich kosztownej rekultywacji. Wymaga to jednak zweryfikowania metod projektowania zginanych elementów wykonanych z fibrokompozytu na bazie kruszyw odpadowych, materiału konstrukcyjnego opracowanego w Katedrze Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu Politechniki Koszalińskiej. W rozdziale tym zatytułowanym *Geneza, Przedmiot, Cel i Tezy Pracy* sformułowano 2 tezy rozprawy doktorskiej.

- w rozdziale 3 przedstawiono przegląd literatury związanej z tematem rozprawy, a szczególnie charakterystyki materiału jakim jest opracowany w Katedrze Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu Politechniki Koszalińskiej fibrokompozyt drobnokruszywowy, który został użyty do wykonania badanych belek przedstawionych w pracy, a także nośności i stanów granicznych użytkowania belek fibrobetonowych, i tak: 3.1 dotyczy ogólnej charakterystyki fibrobetonów; 3.2 przedstawia składniki kompozytu drobnokruszywowego będącego materiałem opracowanym w Katedrze Konstrukcji Betonowych i Technologii betonu wraz z podaniem ich właściwości, geometrię i cechy techniczne zastosowanych włókien stalowych oraz skład mieszanki fibrokompozytu drobnokruszywowego i jego właściwości; 3.3 dotyczy nośności na zginanie przekrojów fibrobetonowych, a 3.4 zarysowania i ugięcia belek fibrobetonowych.

- Rozdział 4, zatytułowany „ Program i zakres badań”, poświęcono przedstawieniu badań „wiodących” oraz uzupełniających.

- Program badań wiodących obejmował 3 serie belek o wymiarach 150x200x3300 mm różniących się stopniem zbrojenia podłużnego, wynoszącego odpowiednio: 0,38%, 0,87% i 1,56% dla poszczególnych serii. W każdej serii wykonano 3 belki, z których 1 belka wykonana była z kompozytu drobnokruszywowego z zastosowaniem strzemion na całej długości o stałym rozstawie, a 2 pozostałe z fibrokompozytu z których jedna nie została zabroniona strzemionami. Belki obciążane były dwoma siłami równomiernie rozstawionymi na długości. Zakres badań belek obejmował pomiar siły obciążającej, ugięć, odkształceń prętów rozciąganych oraz odkształceń powierzchni bocznych belek;
- Program badań uzupełniających obejmował badanie na ściskanie 30 próbek walcowych i trzypunktowe zginanie 30 beleczek o wymiarach 150x150x700mm wykonanych z mieszanki kompozytu takiej samej jak elementów belkowych oraz badanie prętów zbrojeniowych. Zakres badań uzupełniających obejmował wyznaczenie wytrzymałości na ściskanie stosowanego kompozytu i fibrokompozytu na próbkach walcowych oraz granicy proporcjonalności i wytrzymałości resztkowych na beleczkach z fibrokompozytu, a także granicy plastyczności, modułu sprężystości i wytrzymałości na rozciąganie zastosowanych prętów zbrojeniowych.

W rozdziale starannie opisano sposób wykonania i pielęgnacji belek oraz przygotowania ich powierzchni bocznej do badania odkształceń powierzchniowych z wykorzystaniem systemu optycznego Aramis, a także wykonanie elementów do badań uzupełniających.

- W rozdziale 5 przedstawiono metodykę badań określających właściwości techniczne materiałów, a także metodykę badań zginanych belek w zakresie nośności, odkształceń oraz procesu zarysowania. W ramach opisu badań uzupełniających pokazano stanowiska do badania na ściskanie użytego fibrokompozytu oraz do badania wytrzymałości resztkowych na zginanie i granicy proporcjonalności. Badania pozwalające określić charakterystykę fibrobetonu w zakresie pozasprężystym (wytrzymałość resztkowa, granica proporcjonalności) zostały w rozdziale szerzej opisane wraz z podaniem wzorów na ich wyznaczenie. Pokazano także stanowisko do badań granicy plastyczności, modułu sprężystości i wytrzymałości na rozciąganie prętów zbrojeniowych. W ramach opisu badań wiodących przedstawiono stanowisko badawcze, a także zastosowaną aparaturę pomiarową. Do pomiaru ugięć oraz odkształceń na jednej powierzchni bocznej belki zostały zastosowane czujniki przemieszczeń, które na powierzchni bocznej montowane były za pomocą wklejanych kołków aluminiowych o średnicy 5 mm. Odkształcenie zbrojenia rozciąganego mierzono za pomocą tensometrów elektrooporowych przyklejonych do prętów zbrojeniowych. Odkształcenia drugiej powierzchni bocznej rejestrowane były za pomocą systemu optycznego Aramis, umożliwiającego obliczenie przemieszczeń dowolnych punktów, a także dokonanie pomiaru przemieszczeń, szerokości rys oraz odległości między rysami na każdym poziomie obciążenia. Analizie poddano środkową powierzchnię boczną belki o długości 1 m, na odcinku między siłami, na którym występuje czyste zginanie. Przedstawiono przykładowy obraz z pomiaru odkształceń powierzchni belki wykonany z zastosowaniem firmowego oprogramowania systemu optycznego Aramis.

- W rozdziale 6 przedstawiono analizę uzyskanych wyników badań, i tak:

- W zakresie badań uzupełniających przeanalizowano z zastosowaniem testów statystycznych wyniki badania:
 1. wytrzymałości na ściskanie kompozytu bez włókien i fibrokompozytu stwierdzając na podstawie współczynnika zmienności bardzo dobrą jakość materiału. Wyniki przedstawiono w tabeli i na wykresach słupkowych.

2. granicy proporcjonalności i wytrzymałości resztkowej uzyskując współczynniki zmienności w przedziale 11- 17 %, które również można uznać za bardzo dobre gdyż są one na ogół obarczone dużym rozrzutem wynoszącym średnio 20%. Klasę badanego fibrobetonu oznaczono jako 7b. Wyniki przedstawiono w tabeli i na wykresach słupkowych.

3. cech wytrzymałościowych stali zbrojeniowej prętów o średnicy 8, 12 i 16 mm, na podstawie której stwierdzono, że mogą być one stosowane jako stal zbrojeniowa.

▪ W zakresie badań wiodących wykonano analizy dotyczące:

1. Faz pracy zginanych belek, które zilustrowane zostały na wykresach zależności siła obciążająca ugięcie, ale nie przedstawiono potrzeby wykonania takiej analizy ani jej nie podsumowano,

2. Nośności na zginanie obejmujące: zestawienie nośności poszczególnych belek wraz z porównaniem nośności belek wykonanych z kompozytu bez włókien i fibrokompozytu; zestawienia odkształceń krawędzi ściskanej i rozciąganej na poziomie obciążenia odpowiadającego momentowi uplastycznienia zbrojenia oraz maksymalnemu momentowi wraz z wartościami tych momentów, porównaniu poddano wyniki uzyskiwane z czujników przemieszczeń oraz z systemu optycznego Aramis i przedstawiono ich przebieg na wysokości belki dla momentu uplastycznienia i nośności na zginanie dla każdej belki; porównanie momentów uplastycznienia oraz nośności belki na zginanie obliczonych na podstawie 3 wybranych metod RILEM, Model Code 2010 oraz wg Barrosa. Stwierdzono wzrost nośności belek w wyniku zastosowania włókien od 9% - belki o stopniu zbrojenia podłużnego 1,56% do 43 % - belki o stopniu zbrojenia podłużnego 0,38%, a także przyrost nośności względem momentu uplastycznienia, który jest większy dla belek bez dodatku włókien. Na podstawie porównania stwierdzono, że teoretyczne wartości nośności na zginanie są wyższe od nośności uzyskanych z badań dla poszczególnych belek, co dotyczy zarówno metody RILEM i Model Code 2010 jak i metody wg propozycji Barrosa. W podsumowaniu stwierdzono, że metodą najtrafniej opisującą momenty uplastycznienia i nośności na zginanie jest propozycja Barrosa będąca korektą metody RILEM oraz że metody RILEM czy Model Code 2010 nie powinny być w obecnym stanie stosowane do projektowania zginanych elementów konstrukcyjnych wykonanych z fibrokompozytu drobnokruszywowego.

3. Zarysowania obejmujące: porównanie momentów rysujących teoretycznych i doświadczalnych, zależności średniego rozstawu rys od momentu zginającego, porównania obliczeniowego (metodą RILEM i Model Code 2010) i doświadczalnego rozstawu rys, a także analizy szerokości rysy. Stwierdzono korzystny, ale mocno zróżnicowany dla poszczególnych belek wpływ dodatku włókien na wartość momentu rysującego, znaczne różnice między momentem rysującym obliczeniowym a uzyskanym w badaniach. Stwierdzono także wpływ włókien na rozstaw rys, który dla końcowego zarysowania jest wyraźnie mniejszy, co ma przełożenie na szerokość rysy. Wykazano, że stosunek maksymalnej szerokości rysy do szerokości rysy średniej na odcinku stałego momentu wynosi średnio 1,29 dla belek bez włókien, 1,89 dla belek z włóknami i strzemionami oraz 1,83 dla belek z włóknami bez strzemion. W podsumowaniu stwierdzono, że zgodność pomiędzy teoretycznymi i doświadczalnymi wartościami maksymalnej szerokości jest niezadowalająca zarówno dla belek z włóknami, jak i bez.

4. Ugięcia obejmujące: zależności ugięcie - moment zginający, doświadczalnej sztywności w zależności od momentu zginającego, eksperymentalnej i teoretycznej (obliczonej wg 4 wybranych metod: EC2, Amin, Alsayed, Ezeldin i Shiah) dla poszczególnych belek.

Stwierdzono, że wpływ włókien na ugięcia jest wyraźny dla belek o niskim stopniu zbrojenia na zginanie (seria 1), a im wyższy stopień zbrojenia tym wpływ mniejszy, prawie niewidoczny dla belek serii 3, co można zaobserwować również na wykresach zależności sztywność moment zginający. Porównując eksperymentalne i obliczone zależności krzywizny od momentu zginającego, stwierdzono, że metody Alsayeda oraz Ezeldina i Shiada dobrze opisują ugięcie belek z fibrokompozytu drobnokruszywowego.

- W rozdziale 7 przedstawiona została propozycja wymiarowania zginanych elementów wykonanych z drobnokruszywowego fibrokompozytu. Na podstawie wykonanych analiz porównawczych wyników doświadczalnych i obliczeniowych stwierdzono, że analizowane metody (RILEM, Model Code 2010) zawyżają, a nie zaniżają teoretyczną nośność na zginanie, stąd w obecnej formie nie powinny być stosowane do projektowania elementów belkowych wykonanych z fibrokompozytu drobnokruszywowego. Poszukując tego przyczyny ustalono, że do analizy przekrojów zginanych w belkach statycznie wyznaczalnych o niewielkich wymiarach przekroju poprzecznego nie powinno przyjmować się średnich wytrzymałości resztkowych, gdyż występuje w nich mniejsza efektywność włókien. Aspekt ten został uwzględniony w Model Code 2010 poprzez wprowadzenie współczynnika K stosowanego do modyfikacji wytrzymałości resztkowych, ale nie podano wytycznych do przyjmowania jego wartości. Dysponując wynikami badań doświadczalnych oraz wynikami wykonanych obliczeń Doktorant podjął próbę wyznaczenia współczynnika K zarówno dla metody RILEM jak i Model Code 2010. Zaproponowane wartości współczynnika K zostały zastosowane do porównania momentów obliczonych wg autorskiej propozycji korekty metod RILEM i Model Code 2010 z wynikami badań eksperymentalnych uzyskując dobrą zgodność. Weryfikacji zaproponowanych współczynników K dokonano również na danych z badań innych autorów.

- W rozdziale 8 zamieszczono ogólne podsumowanie dotyczące zastosowanego do elementów belkowych fibrobetonu drobnokruszywowego ze zbrojeniem rozproszonym w postaci włókien stalowych oraz wnioski końcowe potwierdzające słuszność sformułowanych tez pracy. W rozdziale tym podano koncepcję do dalszych prac badawczych, które przyczyniłyby się do szerszego zastosowania opracowanego w Katedrze Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu fibrokompozytu.

Załączniki

Załączniki stanowią cenny komplet wyników wykonanych badań zarówno wiodących jak i uzupełniających, które mogą posłużyć do dalszych analiz nie tylko Autora.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

4.1. Ocena doboru tematu i postawionego celu

W pracy podjęta została bardzo istotna, zarówno pod kątem zastosowania fibrobetonu w elementach konstrukcyjnych, co wymaga weryfikacji aktualnych metod projektowania zginanych elementów jak i wykorzystania materiału odpadowego, będącego wyflukowanym piaskiem pozbawionym frakcji grubych tworzącym niezagospodarowane hałdy. Wykorzystanie piasku odpadowego do betonu konstrukcyjnego może być doskonałym sposobem zagospodarowania powstających hałd w miejsce poddania ich kosztownej rekultywacji. Dodatkowo więc podjęta tematyka dotycząca opracowanego w Katedrze Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu materiału jakim jest fibrokompozyt drobnokruszywowego na bazie kruszywa odpadowego, który może być wykorzystany do wykonania elementów konstrukcyjnych, jest bardzo trafna.

Ponieważ jak stwierdzono, na podstawie stanu zagadnienia zastosowania fibrobetonu do elementów konstrukcyjnych, że istnieją uzasadnione wątpliwości co do poprawności aktualnych metod projektowania zginanych elementów fibrobetonowych, tym bardziej do zastosowania ich przy projektowaniu elementów belkowych z fibrobetonu drobnokruszywowego, konieczna jest weryfikacja doświadczalna. Podjęty cel pracy dotyczący możliwości zastosowania metod wymiarowania zginanych elementów fibrobetonowych wg RILEM i Model Code 2010 do projektowania belek wykonanych z fibrokompozytu na bazie kruszyw odpadowych jest zasadny i ważny zarówno z naukowego jak i z praktycznego punktu widzenia.

4.2. Tezy rozprawy

W pracy postawione zostały dwie tezy pracy:

- „Dodatek włókien stalowych do kompozytu wykonanego na bazie kruszyw odpadowych w istotny sposób przyczynia się do zwiększenia nośności na zginanie elementów konstrukcyjnych, zmniejsza szerokości rozwarcia rys prostopadłych i ugięć oraz umożliwia częściową redukcję zbrojenia konwencjonalnego”.
- „Możliwe jest projektowanie zginanych elementów konstrukcyjnych wytworzonych z fibrobetonu drobnokruszywowego w oparciu o metody wymiarowania wg rekomendacji RILEM TC-162-TDF i prenormy Model Code 2010, po ich uprzedniej eksperymentalnej weryfikacji i korekcie.”

Tezy te mają charakter naukowy i są w pracy konsekwentnie udowodniane. Do tego celu służy Doktorantowi naukowa metodyka oparta na studiach literatury, norm, analiza wykonanych badań własnych oraz zaproponowana korekta metody RILEM i Model Code 2010 wymiarowania zginanych elementów wykonanych z drobnokruszywowego fibrokompozytu.

4.3. Ocena wartości naukowej rozprawy

Recenzowana rozprawa wskazuje na kompetencję Doktoranta i umiejętność twórczego rozwijania wiedzy. Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia Autora uznaje:

- Dokonanie przeglądu literatury i norm wraz z interpretacją własną wyników pod kątem postawionego celu pracy,
- Opracowanie programu i przeprowadzenie badań własnych obejmujących badania 9 belek wykonanych z fibrokompozytu drobnokruszywowego oraz badań uzupełniających pozwalających na określenie cech wytrzymałościowych zastosowanych w elementach belkowych materiałów,
- Opracowanie wyników z badań własnych pod kątem postawionych tez dysertacji,
- Przeprowadzenie analizy teoretycznej w aspekcie wpływu włókien stalowych na moment uplastycznienia zbrojenia rozciąganego oraz nośność na zginanie badanych belek, a także wpływu włókien na moment rysujący, rozstaw rys i ich szerokość oraz ugięcie.
- Przeprowadzenie analizy porównawczej wyników uzyskanych z badań obejmujących moment uplastycznienia, nośność, moment rysujący, odległości między rysami, szerokość rys, ugięcie, z wynikami obliczeń analizowanych wielkości opartych na wybranych metodach,
- Opracowanie propozycji wymiarowania zginanych elementów wykonanych z drobnokruszywowego fibrokompozytu,

- Określenie wartości współczynnika korekcyjnego wytrzymałości resztkowej K dla metody RILEM i Model Code 2010 oraz jego weryfikacja zarówno na badaniach własnych jak i wynikach badań innych autorów.

5. Uwagi o pracy

Uwagi o pracy można podzielić na:

5.1. Uwagi formalne

Praca napisana i opracowana pod względem graficznym jest starannie. Zwraca uwagę duża dbałość o czytelność pracy szczególnie w zakresie rysunków i tablic. Wydaje się, że Rozdziały 1 i 2 mogłyby być połączone bez uszczerbku dla przejrzystości pracy, to samo dotyczy Rozdziału 4 i 5. Szkoda, że po każdym rozdziale w posumowaniu nie zostały przedstawione wnioski.

Z dostrzeżonych usterek formalnych rozprawy przykładowo należy wymienić:

- str. 11 „Pozostałe składniki **do** kruszywo”
- str. 17 „Prace naukowo-badawcze wciąż prowadzone są **na** wielu obszarach”
- str. 41 „zginania beleczek bez i z szczeliną”
- str. 44 – początek tekstu „Przedstawiona wyżej analiza”
- str. 45 – rys. 3.22 po prawej stronie ściskanie u dołu, po prawej stronie – przekrój - ściskanie u góry
- str. 54 – czytelność wzorów 3.17 i 3.18
- str. 58 – „Większość metod obliczania rozstawu i szerokości rozwarcia rys **polegają** na analizie”
- str. 60 – czytelność wzoru 3.25
- str.63 – (por. 3.2.2) – nie ma takiego punktu
- str. 69 – „w elementach fibrobetonowych opiera na metodzie” – brak się
- str. 71 – „jak we wzorze 3.39” – powinno być 3.33
- str. 73 – \emptyset krzywizna belki, a w wykazie oznaczeń średnica pręta (oznaczenie to powtarza się na innych stronach)
- str. 75 „w uwzględnieniem włókien”
- wg recenzenta cytowana literatura powinna być wymieniana zgodnie z kolejnością
- w bibliografii zasadnym jest rozdzielenie literatury od norm np. normy numerowane od N1 ...

5.2. Uwagi krytyczne merytoryczne

Krytycznych uwag o charakterze merytorycznym nie mam.

5.3. Pytania i uwagi dyskusyjne

- Czy kierowano się przyjmując stopnie zbrojenia podłużnego wynoszące 0,38% , 0,87% i 1,56%,
- Czy brak strzemion w belkach BF1a, BF2a i BF3a występuje na odcinku środkowym belki, czy na całej jej długości – nie przedstawiono tego na rysunku,

- Na jakiej podstawie stwierdzono konieczność zabielenia powierzchni bocznej belki roztworem wodnym wapna, a następnie naniesienie losowego deseni czarną farbą przygotowując do badania z wykorzystaniem systemu optycznego Aramis. Czy wapno dostając się do rysy nie utrudniało określenia jej szerokości, zwłaszcza w początkowym okresie powstawania rys. Z doświadczeń recenzenta wynika, że wystarczy na powierzchnię belki nanieść losowy deseń farbą.
- Czy wg Autora klejane kołki miedziane o średnicy 5 mm potrzebne do zamontowania czujników przemieszczeń na powierzchni bocznej belki - na wysokości zbrojenia rozciąganego - nie miały wpływu na miejsce powstawania rys.
- Ponieważ rysunek 6.5 jest mało czytelny tzn. przez naniesiony deseń mało widoczny jest sposób niszczenia, stąd prośba o szersze przedstawienie obrazu zniszczenia, z uwzględnieniem belek o jednakowym stopniu zbrojenia podłużnego. Na rysunku przedstawiony jest obraz zniszczenia różnych belek są to belki BF1a, B3 i BF3a.
- Nie bardzo dla recenzenta jest jasny zapis (str. 109) „Ostateczne przełamanie belki może nastąpić w wyniku zerwania prętów stalowych (w przypadku stali o niskiej ciągliwości) lub w skutek zmiążdżenia strefy ściskanej przekroju” – wydaje się że jeżeli odkształcenia prętów rozciąganych szybko rosną to również szybko rosną odkształcenia strefy ściskanej i następuje zmiążdżenie betonu – przypadek racjonalnego wykorzystania stali i betonu.
- Prosiłabym o szersze uzasadnienie wzięcia do analizy ugięć belki pomiarów z czujników przemieszczeń, nie zaś z systemu optycznego Aramis, gdyż nie znając konstrukcji stendu zapis na str. 133 jest nie przekonujący.
- Biorąc pod uwagę uzyskane z badań wyniki np. przyrostu momentu w wyniku zastosowania włókien (Tab. 6.4), które nie wykazują jednakowej tendencji np.: belka BF1 – 39%, BF1a – 43%; belka BF2 – 20%, belka BF2a – 29% (tu jest tendencja przyrostu), ale już belka BF3 – 15%, a belka BF3a – tylko 9% (wykazuje spadek) wydaje się, że łatwiej byłoby uzasadniać takie zjawiska wykonując po 2 jednakowe belki, co uzasadnione jest bardzo niejednorodnym materiałem jakim jest kompozyt, a jeszcze stosując włókna stalowe losowość struktury wzrasta.

6. Wniosek końcowy

Na podstawie przeprowadzonej analizy recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Ziarkiewicza pt. „Doświadczalna ocena wybranych metod wymiarowania belek z fibrokompozytu drobnokruszywowego”, stwierdzam, że:

Praca ma charakter naukowy, teoretyczno-badawczy. Zarówno tezy pracy, wykonane badania, jak i autorskie opracowanie propozycji wymiarowania zginanych elementów wykonanych z drobnokruszywowego fibrokompozytu na bazie metod RILEM i Model Code 2010 z zastosowaniem współczynnika K oraz wnioski zawierają elementy naukowe i twórcze. Dotyczy ona skomplikowanego zagadnienia związanego z wykorzystaniem do elementów konstrukcyjnych bardzo niejednorodnego materiału jakim jest fibrokompozyt drobnokruszywowy, w którym niejednorodność samego kompozytu cementowego potęgowana jest chaotycznym rozmieszczeniem włókien stalowych, co powoduje potrzebę doświadczalnej weryfikacji metod wymiarowania tych elementów. Ważnym podkreślenia jest, że praca ma walory aplikacyjne mogące przyczynić się do szerszego zastosowania fibrokompozytu drobnokruszywowego i tym samym zagospodarowania odpadowego kruszywa drobnego.

Doktorant wykazał się dużą wiedzą z zakresu podjętej tematyki i umiejętnością twórczego podejścia do zastanej wiedzy, a także udowodnił umiejętność prowadzenia badań i analizowania wyników oraz formułowania istotnych wniosków.

Moim zdaniem, przedstawiona rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a także wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez jej Autora.

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Marka Ziarkiewicza spełnia wszystkie warunki Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 poz. 1789 t.j. ze zm.) i stawiam wniosek o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Barbara Goszczyńska