

Kraków, 16.08..2017 r.

Prof. dr hab. inż. Kazimierz Furtak  
Instytut L-16  
Wydział Inżynierii Lądowej PK

**Recenzja**  
**pracy doktorskiej mgr inż. Bartosza Piątka**  
**pod tytułem: Nowa technologia wzmacniania konstrukcji betonowych naprężanymi taśmami**  
**CFRP**

**1. Podstawy opracowania**

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Prodziekana ds. Nauki i Rozwoju Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej dr hab. inż. Bartosza Millera, Prof. PRz; pismo z dnia 19 lipca 2017 r.  
Podstawę merytoryczną stanowi dostarczona praca doktorska.

**2. Charakterystyka pracy**

Opiniowana praca doktorska liczy w sumie 347 stron. Zawiera 324 rysunki (nie licząc rysunków w Załącznikach), 76 tablic oraz 29 numerowanych wzorów. Zestawienie bibliograficzne zawiera 193 pozycje. Praca składa się z 9 rozdziałów, dwóch załączników oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Układ pracy jest typowy. Można w niej wyróżnić – poza Wstępem i Podsumowaniem – trzy części. Pierwsza z nich – obejmująca rozdziały 2 i 3 – dotyczy przeglądu literatury z zakresu wzmacniania elementów żelbetowych sprężonymi taśmami z włóknami węglowymi. W rozdziale drugim omówiono zagadnienia technologiczne związane ze wzmacnianiem, natomiast w rozdziale trzecim szczegółowo omówiono czynniki, które wpływają na efektywność wzmacniania. Najważniejszym poziomem odniesienia była technologia NPS .

Część druga obejmuje rozdziały czwarty, piąty i szósty. W części tej omówiono najistotniejsze zagadnienia związane z projektowaniem i badaniem systemu sprężania taśm oraz jego efektów w zakresie oceny pracy wzmacnianych elementów. W rozdziale czwartym omówiono zagadnienia związane z zakotwieniem taśm i urządzeniami do ich naciągu. Rozdział piąty jest poświęcony badaniom nowego zakotwienia taśm, które jest istotnym elementem osiągnięć Autora.

Rozdział szósty stanowi pomost między drugą i trzecią częścią pracy. Podano w nim procedury do obliczania wzmocnienia. Trzecia część pracy obejmuje rozdziały siódmy i ósmy. W rozdziale siódmym przeprowadzono analizę efektywności wzmocnienia. Uwzględniono przy tym różne parametry. W rozdziale ósmym omówiono badania wdrożeniowe całego nowego systemu.

Opiniowana praca ma charakter przede wszystkim doświadczalny. Zasadnicza część pracy jest związana z badaniami doświadczalnymi przeprowadzonymi w laboratorium i na obiektach rzeczywistych w terenie oraz ich metodyką. Przeprowadzono także porównanie uzyskanych wyników badań doświadczalnych z wynikami obliczeń teoretycznych z wykorzystaniem współautorskiego programu komputerowego.

### **3. Ocena merytoryczna pracy**

#### **3.1. Ocena doboru tematu pracy**

Praca dotyczy ważnych zagadnień praktycznych związanych bezpośrednio ze wzmocnianiem elementów żelbetowych za pomocą sprężonych taśm kompozytowych z włóknami węglowymi. Jej tytuł jest wprawdzie ogólny, ale jest ona adresowana jawnie do obiektów mostowych. Zagadnienia te są mniej ważne z teoretycznego, ale bardzo ważne z praktycznego punktu widzenia. Jest to współczesna tendencja, według której akcentuje się możliwości wykonywania doktoratów praktycznych.

Temat jest jak najbardziej aktualny. Efektywność wykorzystania własności mechanicznych taśm z włókien węglowych jest przedmiotem współczesnych badań w wielu ośrodkach badawczych na świecie, a badania Autora w ten trend się jak najbardziej wpisują. Wynika to z zalet zastosowania przedmiotowych taśm do wzmocnienia konstrukcji żelbetowych, a szczególnie obiektów mostowych. Podjęcie tematyki uzasadnia dodatkowo potencjalna liczba obiektów, które mogłyby być wzmocnione, z zastosowaniem omawianej w pracy technologii.

Złożoność zagadnień związanych ze wzmocnianiem obiektów za pomocą sprężonych taśm kompozytowych z włóknami węglowymi wymaga dalszych badań, ale opiniowana praca stanowi ważny element rozwoju tej technologii. Istotne jest przy tym zastosowanie zaproponowanych rozwiązań do wzmocnienia konkretnego obiektu.

Tytuł pracy jest ogólny – dotyczy konstrukcji żelbetowych w ogóle. Treść pracy – a szczególnie ta część, która stanowi rozwiązanie postawionych problemów – dotyczy obiektów mostowych. Również teza pracy odnosi się do obiektów mostowych „... stosowania systemu w warunkach in situ, tj. na rzeczywistych obiektach mostowych”. Nie znalazłem uzasadnienia dla rozszerzenia tematu pracy poza jej treść. Poza przeglądem literatury (dotychczasowe rozwiązania) w zasadzie wszystko dotyczy obiektów mostowych.

### **3.2. Teza pracy**

W pracy sformułowano jedną tezę, która składa się z trzech części. Zawiera ważne sformułowania, które znamionują wagę rozwiązywanych w pracy zagadnień. Teza ta odbiega swoim charakterem od klasycznej (tradycyjnej) tezy pracy doktorskiej. Biorąc pod uwagę postawione cele i zadania do rozwiązania, a przede wszystkim charakter pracy i jej realizację w ramach i na bazie programu POIG tezy mogłoby nie być. Teza ta jest podana w rozdziale pierwszym (punkt 1.3).

Sama teza w tej pracy nie jest najistotniejsza. Ważne jest, że postawione cele naukowe zostały zrealizowane, a osiągnięte efekty są ważne także dla praktyki inżynierskiej oraz stanowią inspirację i wskazują dalsze kierunki badań. Dlatego szczegółowe odnoszenie się do treści tezy pracy nie jest potrzebne. Należy jednak stwierdzić, że jej sformułowanie na początku pracy nadaje w sposób jednoznaczny kierunek poszukiwania rozwiązań analizowanych zagadnień.

### **3.3. Najważniejsze elementy wartości pracy**

Najważniejsze elementy wartości opiniowanej pracy to:

- a) Współdziałal w opracowaniu nowego systemu zakotwień taśm kompozytowych z włóknami węglowymi.
- b) Współdziałal w opracowaniu nowego systemu sprężania taśm kompozytowych z włóknami węglowymi.
- c) Kompleksowe rozpatrywanie zagadnienia wzmocnienia sprężonymi taśmami kompozytowymi belek żelbetowych.
- d) Pozytywna weryfikacja systemu zakotwienia i sprężania taśm w warunkach laboratoryjnych.
- e) Pozytywna weryfikacja systemu zakotwienia i sprężania taśm na obiekcie rzeczywistym.
- f) Ocena liczbowo wyrażonego wpływu różnych czynników na efektywność sprężania; chociaż powinno być zaznaczone, że dane te dotyczą badanych elementów. Ze względu na wpływ efektu skali dane te mogą nie być ważne dla wszystkich przypadków.
- g) Współdziałal w opracowaniu programu do obliczania nośności i ugięć oraz oceny stanu zarysowania belek żelbetowych wzmocnionych sprężonymi taśmami.

### **3.4. Badania doświadczalne**

Przeprowadzone badania doświadczalne zostały zaprogramowane dla realizacji celu i zakresu pracy oraz postawionej tezy. Na wysoką ocenę zasługuje szczegółowa ich dokumentacja w pracy. Taką samą pozytywną uwagę można wypowiedzieć do prezentacji wyników badań. Jest ona przejrzysta, a wyniki mogą być wykorzystane w dalszych pracach Doktoranta oraz przez innych

badaczy. Biorąc pod uwagę, że badania terenowe są czasochłonne i kosztochłonne, jest to ich cenna zaleta.

Badania doświadczalne przeprowadzone przez mgr inż. Bartosza Piątka zasługują na wysoką ocenę. Program badań został przygotowany z uwzględnieniem rozpoznania stanu wiedzy na temat wzmacniania konstrukcji żelbetowych za pomocą sprężonych taśm kompozytowych z włókien węglowych, a szczególnie w zakresie realizacji siły sprężającej i zakotwień.

Jeżeli wziąć pod uwagę cel i zakres pracy, to badania doświadczalne można uznać za wystarczające. W tym miejscu należy podkreślić, że są to badania czasochłonne i kosztochłonne. Ich przeprowadzenie nie byłoby możliwe, gdyby nie finansowanie tematu realizowanego w ramach POIG. Ale to oceniam pozytywnie; praca naukowa służąca gospodarce jest finansowana w znacznej części funduszu przeznaczanego do realizacji tematów związanych z wspomaganie rozwoju gospodarczego.

Pewną trudność w ocenie pracy stanowi brak jednoznacznego wydzielenia szczegółowego zakresu rozwiązań, które są dziełem tylko i wyłącznie Autora. Podanie procentowego udziału w poszczególnych częściach realizacji programu nie pozwala na jednoznaczne ustalenie autorstwa, zwłaszcza udziału merytorycznego. Sytuację komplikuje fakt, że w realizacji tematu w ramach POIG uczestniczyły różne instytucje i wiele osób. Biorąc jednak pod uwagę wszystkie podane informacje oraz zakres badań, nie ma wątpliwości, że udział Autora pracy jest wystarczająco duży, aby go uznać przy ocenie pracy doktorskiej.

#### **4. Uwagi krytyczne**

##### **4.1. Uwagi ogólne**

Podczas czytania pracy – oprócz podanych w punkcie drugim – nasunęły się następujące uwagi natury ogólnej:

- a) Brak jest szczegółowych informacji na temat wymagań dotyczących wytrzymałości betonu i jakości otuliny na którą nakładana jest mieszanka klejowa i jak należy postępować, jeżeli warunek wytrzymałościowy betonu lub jakości otuliny nie jest spełniony.
- b) Na rysunku 3-4 i dalej w pracy rozpatrywany jest przypadek wyczerpana nośności belki bez wzmocnienia przez zmiążdżenie betonu. W belkach teowych (a takie najczęściej występują w mostach żelbetowych) zazwyczaj nie dochodzi do zmiążdżenia betonu. Z kolei można sobie wyobrazić przypadek, gdy w belce wzmocnionej przez sprężanie wyczerpanie nośności nie nastąpi przez zniszczenie wzmocnienia; chociaż byłby to przypadek nieracjonalny.

- c) „Literaturę” wziętą z Internetu należało zestawić oddzielnie lub w stopce (albo jako przypis); podobnie należało potraktować materiały firm komercyjnych.
- d) Czytając pracę czuje się niedosyt związany z brakiem porównania skuteczności sprzężenia tradycyjnego (kablami) i taśmami. Te dwa rodzaje mogą mieć oddzielne pola racjonalnego zastosowania. Takie porównanie ułatwiłoby szukanie takich obszarów. Jest to uwaga jak gdyby na marginesie, gdyż tytuł i zakres pracy obowiązku takiego porównania nie nakładał.
- e) Między innymi na stronie 65<sub>9</sub> i 73<sub>20</sub> jest podkreślone – i słusznie – znaczenie efektu skali, tymczasem w propozycja własnych ten efekt pominięto.
- f) Autor świadomie nie przeprowadził badania mieszanki klejowej chociaż stwierdził, że jest ważnym elementem systemu. Nie podał uzasadnienia dla pominięcia tych badań. Jest to tym bardziej ważne, że na stronie 109<sup>18</sup> jest mowa o opracowaniu nowej mieszanki.

#### 4.2. Uwagi szczegółowe

Oprócz uwag krytycznych ogólnych, podanych w punkcie 4.1, można wymienić następujące uwagi szczegółowe:

- a) Nie powinno się używać określenia „wytężenie” w odniesieniu do oceny stanu naprężenia. Lepiej używać sformułowania o stopniu wykorzystania wytrzymałości.
- b) Co oznacza stwierdzenie: bardziej plastyczna forma zniszczenia – 84<sub>6</sub>.
- c) Brak powołania źródła, z którego wzięto wzór (6.10).
- d) Poprawne określenie to szerokość rysy, a nie szerokość rozwarcia rysy; taki zapis był stosowany w dawniejszych normach.
- e) W pracy brak szczegółowego komentarza dotyczącego zmiany wartości odkształcenia w początkowym okresie po sprzężeniu – rysunki 4-18 ÷ 4-20.
- f) W pracy nie ma informacji, czy brano pod uwagę, że przy dużej sile sprzężającej może dojść do zarysowania betonu na krawędzi belki przeciwległej do powierzchni, przy której znajduje się sprzężana taśma.
- g) Nie podano uzasadnienia dla przyjęcia granicznego odkształcenia taśmy według normy włoskiej CNR-DT 200/2004; strona 176<sub>6</sub>.
- h) Dobór parametrów cyklu w badaniach zmęczeniowych był właściwy. Nie jest zaskoczeniem, że przy wartości współczynnika asymetrii cyklu 0,9 nie zaobserwowano istotnych zjawisk zmęczeniowych – to tylko komentarz..
- i) W tabelicy 7-1 powinno być podane odchylenie standardowe i wskaźnik zmienności, tym bardziej, że w tabelicy 7-2 parametry te są podane.
- j) Brak korelacji między danymi podanymi w tabelicy 7-5 a wykresami na rysunku 7-20. W tekście między rysunkiem 7-19 i tabelicą 7-5 jest napisane, że wymuszano siły wywołujące

moment zginający od 100 do 325 kNm. Tak też jest w tablicy 7-5. Na rysunku 7-20 na wykresach jest od 25 kNm do 425 kNm (dla belki 6). Różne wartości są podane w tablicach od 4-12 do 4-17.

- k) W próbie czteropunktowego zginania zazwyczaj ugięcia mierzy się również w przekrojach działających sił. W swoich badaniach Autor pominął te przekroje, a pomiary były wykonywane w odległości 0,60 m od środka rozpiętości. Nie ma też wyjaśnienia dlaczego przyjęto 0,60 m.
- l) Nie jest jednoznaczny podział faz pracy belki na: przed zarysowaniem, sprężysty i nośności granicznej. Niezarysowany też można zaliczyć do sprężystego, natomiast nośność graniczna jest konkretną liczbą, a nie zakresem.
- l) Autor często pisze o wpływie naprężenia w taśmach na efektywność wzmocnienia..  
Rozumiejąc intencje myślowe Autora, trzeba jednak wziąć pod uwagę, że taką skuteczność uzyskamy zmniejszając wartość naprężenia, ale zwiększając w tym samym stopniu przekrój taśm. Oczywiście jest to rozwiązanie nieracjonalne z ekonomicznego punktu widzenia.

## 5. Ocena strony formalnej pracy

Praca jest napisana jasno i czytelnie. Układ pracy jest poprawny. Wszystkie zagadnienia Autor przedstawił w przystępny i prosty sposób. Nie ustrzegł się jednak powtarzania sformułowań, co nie wpłynęło znacząco na objętość pracy. Ilustracje graficzne są na bardzo dobrym poziomie. Autor właściwie podzielił tekst na część główną i Załączniki, co ułatwia czytelnikowi korzystanie z pracy.

W tekście występują pojedyncze błędy literowe, co w tak obszernej pracy można uznać za zrozumiałe, tym bardziej, że prace doktorskie nie podlegają sprawdzeniu przez zawodowych korektorów. Spis bibliograficzny jest wystarczający i aktualny. Informacje zawarte w literaturze zostały właściwie w pracy wykorzystane.

## 6. Wnioski końcowe

Opiniowana praca doktorska stanowi udane rozwiązanie postawionego zadania technicznego wspartego metodami naukowymi. Autor wykazał się przy tym dobrym przygotowaniem i opanowaniem wiedzy teoretycznej i praktycznej z zakresu badania i analizy wzmocniania elementem żelbetowych sprężonymi taśmami kompozytowymi z włóknami węglowymi. Ponadto potwierdził swoje predyspozycje do prowadzenia badań doświadczalnych i naukowych.

Zapowiedziane cele pracy oraz zadania wynikające z tezy zostały zrealizowane. Wnioski są sformułowane prawidłowo. Wskazane zostały także obszary dalszych badań naukowych. Część

wniosków jest oryginalna, a ich zasadność i poprawność wykazano w badaniach doświadczalnych przeprowadzonych w laboratorium i na obiekcie rzeczywistym.

Metodyka rozwiązywania problemów oraz wnioski mają z jednej strony walory naukowe i poznawcze, a z drugiej strony mogą być pośrednio wykorzystane w praktyce inżynierskiej. Stanowi to zaletę opiniowanej pracy. Przy realizacji pracy Autor wykazał się umiejętnością organizowania i prowadzenia badań naukowych, a także logicznym wnioskowaniem. Są to cechy znamionujące predyspozycje do samodzielnego prowadzenia dalszej działalności naukowej na odpowiednim poziomie.

Biorąc pod uwagę podane wyżej informacje uważam, że przedłożona przez **mgr inż. Bartosza Piątka** praca pod tytułem: **Nowa technologia wzmocnienia konstrukcji betonowych naprężanymi taśmami CFRP** stanowi twórczy wkład do nauki w zakresie inżynierii lądowej w dyscyplinie *budownictwo* oraz spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku (Dziennik Ustaw RP Nr 65), z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej dyskusji.

