

Prof. dr hab. inż. Renata Kotynia  
Politechnika Łódzka  
Katedra Budownictwa Betonowego  
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź

Łódź, dn. 19 maja 2023

## Recenzja pracy doktorskiej

**mgr inż. RAFAŁA BIAŁOZORA**

**pt. „ ANALYSIS OF THE BOND DEFECTS' INFLUENCE ON THE  
BEHAVIOUR OF RC BEAMS STRENGTHENED WITH CFRP / ANALIZA  
WPLYWU DEFECTÓW PRZYCZEPNOŚCI NA ZACHOWANIE BELEK  
ŻELBETOWYCH WZMOCNIONYCH MATERIAŁAMI CFRP”**

### 1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną recenzji stanowi Uchwała nr RDILT.512.1.2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 27 marca 2023 r.

### 2. Przedmiot recenzji i charakterystyka rozprawy

Przedmiotem recenzji jest praca doktorska mgr inż. Rafała Białozora pt. „Analiza wpływu defektów przyczepności na zachowanie belek żelbetowych wzmocnionych materiałami CFRP”. Praca powstała pod kierunkiem promotorów z Katedry Inżynierii Budowlanej, Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej: prof. dr hab. inż. Jana Kubicy i dr inż. Marcina Górskiego, prof. PŚ. Praca dotyczy zastosowania materiałów z włókien węglowych (CFRP) do wzmacniania konstrukcji żelbetowych. Wiele konstrukcji inżynierskich wzmacnianych tą techniką może podlegać stopniowej degradacji połączenia pomiędzy kompozytem a betonem. W każdym przypadku wykrycie jakiegokolwiek wady w połączeniu, nie daje gwarancji wpływu na efektywność wzmocnienia elementu konstrukcyjnego.

Zatem podstawowym celem pracy doktorskiej mgr inż. Rafała Białozora jest:

*Analiza skuteczności zachowania się belek żelbetowych wzmocnionych przy użyciu taśm z włókien węglowych w kontekście wad w połączeniu z betonem.*

W celu właściwego zrozumienia istotnych czynników wpływających na proponowany system wzmocnienia oraz zjawisk mających podstawę oceny merytorycznej przedstawiony w pracy krótki przegląd literatury opiera się na bardzo krótkim opisie publikacji. Wcześniej opracowane badania dotyczące wpływu wad na warunki przyczepności zostały wykorzystane, w bardzo ograniczonym zakresie, jako punkt odniesienia do rozwinięcia dalszych części pracy.

Praca ma charakter doświadczalny z elementami analizy numerycznej, ale obejmuje zaledwie 143 stron. Pracę podzielono na 6 rozdziałów, poprzedzonych streszczeniem oraz wykazem skrótów, oznaczeń i symboli podzielonych na litery: greckie, łacińskie oraz skróty.

Bibliografia obejmuje wykaz cytowanej literatury (łącznie 159 pozycji) i 19 norm (oznaczonych symbolami: N1 - N19). Praca obejmuje zaledwie: 91 rysunków w podstawowej treści pracy i 21 rysunków w części załączników oraz łącznie 26 tabel.

Podział pracy na 6 rozdziałów jest bardzo minimalistyczny.

**Rozdział 1** - opisuje podstawy, motywy, cel i zakres ujętych zagadnień w dość uproszczonym stopniu, bez szczegółowej analizy problemu.

**Rozdział 2** - przedstawia przegląd zagadnień związanych z biernym wzmacnianiem przy użyciu taśm CFRP. Autor skupił się jedynie na parametrach wpływających na efektywność wzmocnienia, sposobach zniszczenia w celu lepszego zrozumienia kluczowych aspektów z punktu widzenia podstawowych badań. Opisy dotyczą jedynie wybranych publikacji i nie są właściwie doprecyzowane z punktu widzenia prezentowanych wyników w kontekście wzmocnień dotyczących różnych efektów obejmujących: długość przyczepności; liczbę badanych taśm i ich wymiary; sztywność taśm/mat; przygotowanie powierzchni; wpływ obciążeń dynamicznych; efektów środowiskowych i obciążeń długotrwałych. Samo podsumowanie wydaje się jednak poprawnie sformułowane i w kontekście tak wielu parametrów zmiennych niemożliwe do precyzyjnego zdefiniowania planu badawczego. Podsumowując, ten stan wiedzy można zauważyć, że pomimo wielu badań przeprowadzonych w długim okresie czasu wciąż nie ma odpowiedniej wiedzy dotyczącej wpływu rodzaju wzmocnienia belki z takimi nieciągłościami (defektami) wzmocnienia. To skłoniło Autora do przeprowadzenia własnych badań opisanych w Rozdziale 3.

**Rozdział 3** - prezentuje plan badawczy z zakresem i metodologią badań. Autor opisuje główne cele pracy, którymi są: badania zachowania się belek żelbetowych wzmocnionych taśmami CFRP z uszkodzeniami przyczepności na styku beton-klej-taśma CFRP. W badaniach tych Autor skupił się głównie na określeniu wpływu położenia braków przyczepności wzmocnionych elementów pod obciążeniem monotonicznym z podziałem na dwa sposoby zniszczenia wzmocnionych belek, które zależały od położenia miejsca zniszczenia. Seria A – obejmowała zniszczenie na zginanie, a Seria B – zniszczenie na ścinanie. Różnice żelbetowych belek obu serii obejmowały:

- ilość zbrojenia na ścinanie (odrębnie w serii A i B);
- niejednolite fragmenty uszkodzeń przyczepności taśmy w belkach obu serii;
- różne rozstawy strzemion: seria A – rozstaw przy podporze co 100 mm oraz seria B – rozstaw na całej długości belki co 290 mm;

- niejednolite położenie defektów przyczepności.

W ramach badań doświadczalnych Autor wykonał 9 belek wymienionych wcześniej dwóch serii: A i B, które miały jednakowe zbrojenie dolne w postaci 4 prętów o średnicy 12 mm i 2 prętów o średnicy 8 mm – zbrojenie górne.

**Rozdział 4** - prezentuje wyniki badań doświadczalnych. Począwszy od badań materiałowych (betonu, stali i taśm CFRP), przez badania doświadczalne 9 belek dwóch serii: A i B, opisanych w Rozdziale 3.

**Rozdział 5** - dotyczy modelowania numerycznego analizy statycznej konstrukcji belek wzmocnionych taśmami CFRP. Autor przedstawił przegląd wielu metod numerycznych zastosowanych w badaniach i porównał je z wynikami doświadczalnymi opisanymi w Rozdziale 4.

**Rozdział 6** – obejmuje podstawowe podsumowanie wyników badań przedstawionych w poprzednich rozdziałach. Autor sformułował wnioski, a także zalecenia dotyczące dalszych badań w podstawowej formie, opierając się nie tyle na własnych wynikach badań, co badaniach obcych.

### **3. Opinia Recenzentki dotycząca rozprawy**

Rozprawa dotyczy badań doświadczalnych, które podzielono na dwie serie belek żelbetowych wzmocnionych taśmami CFRP, o różnej liczbie strzemion. W efekcie przeanalizowano wpływ defektów na przewidywany sposób zniszczenia wzmocnionych elementów. W każdej serii elementów (A i B) badano trzy wybrane położenia defektów na długości belki, również w stanie granicznym nośności. W celu obserwacji wpływu wielkości defektu zbadano ostatnią belką ze stosunkowo dużym obszarem braku przyczepności do betonu.

Rozdział 2 dotyczący omówienia badań belek wzmocnionych na zginanie elementów żelbetowych przy uwzględnieniu szeregu aspektów w tym: zarysowania, efektu skali, stopnia zbrojenia, stopnia wzmocnienia, usytuowania miejsca nieciągłości przyczepności taśmy (w środku belki/ w połowie odległości między siłą a podporą/ przy podporze). Pozostałe podrozdziały dotyczące innych wpływów na efektywność wzmocnienia na zginanie są poprawnie ujęte.

W celu weryfikacji możliwości prognostycznych symulacji numerycznych, pozostałą część pracy poświęcono analizie elementów skończonych. W tej części skupiono się na wybranej strategii modelowania numerycznego wzmocnionych belek żelbetowych z wprowadzonymi w danych miejscach defektami połączenia taśm z betonem. Dane uzyskane z badań doświadczalnych pozwoliły na właściwą walidację obliczeń numerycznych. Dla dodatkowego poziomu weryfikacji symulacji metodą FE, Autor opracował niezależne narzędzie numeryczne oparte na analizie warstwowej belek żelbetowych i koncepcji ograniczenia odkształceń. Dzięki rozszerzonym badaniom numerycznym Autor określił zależność pomiędzy współczynnikiem wielkości uszkodzenia w połowie rozpiętości belki, a obciążeniem granicznym dla przyjętej geometrii.

Dodatkowo dokonał bardziej wnikliwych obserwacji dotyczących przyczyny powstania uszkodzenia oraz rozwoju tego uszkodzenia wzdłuż belki.

## **Rozdział 1 – Podstawy i motywacja**

### **1.1. – Wprowadzenie do zakresu badań**

Rozdział ten prezentuje nadzwyczaj krótki wstęp opisujący jedynie genezę tematu wzmocnienia konstrukcji żelbetowych oraz opis problemu naukowego z metodą jego rozwiązania. Autor nie sprecyzował jasno technik wzmocnienia CFRP oraz szczegółowych parametrów związanych z trwałością, stopniową degradacją, jak również oceną jakości połączenia kompozytu z betonem.

### **1.2. – Zarys problemu**

Sposób wzmocnienia wymaga dokładnego opisu dla którego podstawą jest szczegółowy stan wiedzy ujęty w zakresie przeanalizowanych badań. Po pierwsze, kontrola sposobu wzmocnienia jest wymagana zaraz po wykonaniu wzmocnienia. Na powierzchni elementów konstrukcyjnych przygotowanych w sposób dowolny mogą pojawić się ukryte wady lub pustki, a także nieciągłości na styku beton - klej lub klej – taśma CFRP. Autor opisał sposoby kontroli jakości przyczepności taśm do betonu niezbyt dokładnie, a na dodatek nie udokumentował właściwie różnych metod nieniszczącej oceny systemów wzmocnienia (NDE), które dostarczają szczegółowych danych o stanie wzmocnienia i potencjalnych wad. Nieciągłości ujawnione w połączeniach wymagają prawidłowej oceny właściwości konstrukcyjnych wzmocnionych elementów.

Dotychczasowe wyniki badań nie określają jednoznacznie, czy istnieje jakkolwiek akceptowalny poziom wielkości defektów w elementach wzmocnianych taśmami CFRP. Mimo, że Autor przywołuje szereg publikacji na ten temat, to nie precyzuje jasno ich wyników. W zasadzie tak skrótowy opis zagadnienia mało wnosi w stanie wiedzy, który wydaje się, że powinien być znacznie bardziej rozbudowany.

W stanie wiedzy brakuje opisu większości publikacji ujętych w spisie literatury. To znacząco wpływa na niską jakość pracy, a tym samym nie kwalifikuje opisu stanu wiedzy do sprecyzowania dokładnych celów pracy.

Jeśli chodzi o transformację obrazu do zestawienia danych, Autor opracował technikę odfiltrowania założonego poziomu temperatury, który jest traktowany jako wada zdjęcia, która jest tworzona w postaci chmur punktów, a jej zarys polega na związaniu matematycznego problemu w postaci polilinii opracowanej w CAD. Taka baza punktów danych może być wykorzystana do oszacowania właściwego temu obszarowi zakresu wady i porównana z wartościami dopuszczalnego poziomami wad. Do tego oczywiście konieczny jest odpowiedni nomogram i wytyczne. Ponadto, wada ta może zostać zapisana w cyfrowym modelu (*digital twin concept*) lub może zostać wykorzystana do zaawansowanej analizy numerycznej. Ten opis konwersji danych zdjęciowych do modelu numerycznego również powinien być znacznie szerzej opisany, gdyż sam rysunek (Fig. 1.6), niezbyt precyzyjnie określa sposób pozyskiwania danych oraz sposób ich weryfikacji.

## **Rozdział 2 – Wprowadzenie do wzmacniania CFRP**

Opis tego rozdziału jest dosyć ogólny i wymaga poszerzenia opisu zastosowania materiałów CFRP do wzmacniania konstrukcji żelbetowych i to zarówno w zakresie opisu zastosowanych materiałów, sposobu ich aplikacji oraz mechanizmów zniszczenia.

Należałoby poszerzyć opis metod obliczeniowych o obliczenia analityczne według wskazanych przez Autora norm [N1-N19], a w szczególności rozdziału 6.2.1. *fib* Bulletin 90 o zakresy obliczeń:

- *End debonding analysis;*
- *Curtailement of FRP assuming fully cracked state;*
- *End anchorage at the flexural crack closest to the point of zero moment;*
- *End debonding analysis at an arbitrary concrete element between cracks;*
- *Mechanical anchorage to secure the FRP;*
- *Localized strengthening*

oraz w rozdziale 6.3.5 obliczeń dotyczącym ścinania z uwagi na warunki odspojenia końca taśmy oraz odspojenia w obszarze zginania.

Autor skupił się jedynie na parametrach wpływających na efektywność wzmocnienia, sposobach zniszczenia w celu lepszego zrozumienia kluczowych aspektów z punktu widzenia podstawowych badań. Opisy dotyczą jedynie wybranych publikacji i nie są właściwie doprecyzowane z punktu widzenia prezentowanych wyników w kontekście wzmocnień dotyczących różnych efektów obejmujących:

- długość przyczepności;
- liczbę badanych taśm i ich wymiary;
- sztywności taśm/mat;
- przygotowanie powierzchni;
- wpływ obciążeń dynamicznych;
- efekty środowiskowe i obciążenia długotrwałe.

Samo podsumowanie wydaje się jednak poprawnie sformułowane i w kontekście tak wielu parametrów zmiennych niemożliwe do precyzyjnego zdefiniowania planu badawczego. Podsumowując, ten stan wiedzy można zauważyć, że pomimo wielu badań przeprowadzonych w długim okresie czasu wciąż nie ma odpowiedniej wiedzy dotyczącej wpływu rodzaju wzmocnienia belki z takimi nieciągłościami (defektami) wzmocnienia. To skłoniło Autora do przeprowadzenia własnych badań opisanych w Rozdziale 3.

## **Rozdział 3 – Program doświadczalny, zakres i metodologia**

### **3.1. - Cel i zakres badań laboratoryjnych**

Opis badań jest w miarę przejrzysty i dokładnie zaprezentowany w tym rozdziale.

Brakuje jedynie informacji dotyczących niewzmocnionej belki A1, co można było ująć na jednym zbiorczym rysunku z belką A2, wpisując określenie: A1 – belka referencyjna / A2 – belka wzmocniona na całej długości bez braków przyczepności.

## **Rozdział 4 – Badania doświadczalne**

### **4.1. – Doświadczalne badania materiałowe**

#### **4.1.2. Taśmy węglowe CFRP**

Badania wytrzymałości na rozciąganie przeprowadzono na 6 taśmach CFRP firmy S&P Lamelle CFK 150/2000 o wymiarach 20 mm szerokości i 500 mm długości zgodnie z normą ASTM D3039 [N2] na maszynie wytrzymałościowej.

Ponieważ kotwienie taśm wykonano przy użyciu metalowych nakładek przyklejanych do taśm CFRP i mocowanych w szczękach podczas badania, doszło do przedwczesnego osiągnięcia znacząco niższej wytrzymałości taśm na rozciąganie niż wykazane w instrukcji technicznej firmy S&P. Uzyskane wyniki wykazały eksplozywny charakter zniszczenia w 4 z 6 badanych próbek. W pozostałych zaobserwowano przedwczesne zniszczenie z powodu podłużnego pęknięcia na całej długości taśmy. Recenzentka sugeruje użyć nieco szersze powierzchnię styku próbek z zakotwieniami i na dodatek wykonanie zakotwień w postaci aluminiowych nakładek ze zmienną grubością, a nie stalowych. Nakładki aluminiowe pozwalają na łagodne włączanie się do współpracy rozciąganej taśmy w zakotwieniach. Stosunkowo niski moduł sprężystości mógł być skutkiem właśnie stalowych zakotwień.

### **4.2. – Wyniki badań doświadczalnych**

W badaniach zostały omówione wyniki w bardzo minimalistycznym zakresie.

1. Na rysunku 4.16 brakuje opisu podpór (przesuwna / nieprzesuwna). To znacząco uprościłoby analizę miejsca zniszczenia belek.
2. Belka A1 - w zbyt wąskim zakresie opisano proces badania. Brakuje informacji dotyczących:
  - wykresu ugięć belki A1 na rys. 4.15,
  - sposobu zarysowania zarówno na rysunku 4.16, jak i rys. 4.21-4.22 prezentujących układy rys metodą (*DICS - Digital Image Correlation System*),
  - zestawienia maksymalnych ugięć belki (Tabla 4.6),
  - wykresu krzywizny belki A1 na rys. 4.17,
3. Belka A2 - pokazano zaledwie sposób odspojenia taśmy, który nastąpił gwałtownie zaraz po inicjacji zniszczenia (*IC- Intermediate Crack Debonding*).
4. Wykres ugięć belki A2 na rys. 4.14 nie jest widoczny i powinien być zamieszczony odrębnie, tak aby kolory się nie pokrywały.
5. Brakuje wykresu krzywizny belki A2 na rys. 4.15,
6. Brakuje sposobu zarysowania belki A2 zarówno na rysunku 4.16, jak i rys. 4.21-4.22 prezentujących układy rys metodą (*DICS*).

7. Belka A6 - brakuje sposobu zarysowania belki na rysunku 4.16 oraz wykresu ugięć tej belki na rys. 4.15.
8. Podobnie jak w przypadku belki referencyjnej A2, we wszystkich przypadkach zaobserwowano pośrednie odspojenie taśmy belek: A3a, A3b i A3c (rys. 4.11 a-b).
9. W przeciwieństwie do belek A2 i A3a, w przypadku belek A3b i A3c odspojenie nastąpiło po stronie podpory nieprzesuwnej. Jednocześnie była to strona, po której położone były miejsca nieciągłości taśmy.
10. W serii B, gdzie zastosowano mniej zbrojenia na ścinanie, sposób zniszczenia został zapoczątkowany pojawieniem się ukośnych rys od ścinania (rys. 4.12 a-b).
11. Odspojenie rozpoczęło się na końcu taśmy i postępowało poziomo w kierunku środka przęsła na poziomie zbrojenia dolnego. Stosunkowo duże fragmenty betonu przyklejone do taśmy wywołały daleko posunięte odspojenie betonowej otuliny opisane mianem (*CCS - Concrete Cover Separation*). Dlaczego więc nie zastosowano w tych belkach takiego samego układu nieciągłości, jak w poprzednich belkach?
12. Zaskakujące jest, że w belkach serii A i B brak przyczepności na fragmentach elementów nie był jednolity na długości elementu, co raczej byłoby wskazane w celach porównawczych. W ten sposób zakres obszaru bez przyczepności był różny w elementach serii A i B. To jasno sygnalizuje fakt, że w elementach, badawczych różnice w badaniach powinny być jednostkowe (czyli tylko jeden paramet zmienny). W przeciwnym razie bardzo trudno jest określić, który parametr i w jakim stopniu wpłynie na skutki zniszczenia, zwłaszcza kiedy elementy różnią się znacząco między sobą, co miało miejsce w belkach typu A i B.
13. Należałoby zbadać referencyjną belkę niewzmocnioną - B1 i wzmocnioną - B2, aby porównać różnice między belkami po wzmocnieniu (B3a, B3b, B3c).
14. Na jakiej podstawie określono wartości: 4,0%; 0% i 5,1% w belkach B3a-B3c, skoro nie ma badań belki niewzmocnionej?
15. W Rozdziale 4 brakuje wyników pomiarów odkształceń betonu (SGC) i stali (SGS).
16. Na rysunkach 4.21 i 4.22 powinny być pokazane poziomy obciążenia ze zdjęciami odpowiadającymi tym poziomom (np. 5 zdjęć z kolejnymi poziomami obciążeń).
17. Poziom braku przyczepności obejmujący aż 60% całkowitej powierzchni styku taśmy zmniejszył co prawda obciążenie niszczące wzmocnionej belki (A6) o 15% w porównaniu do wzmocnionej belki z pełną przyczepnością (A2), ale jednocześnie pozwolił na sformułowanie wniosku, że nośność tak wzmocnionego elementu zależy od stref zakotwienia na długości wzmacnianego elementu.
18. W Załączniku D - poziomy obciążenia powinny być podane na odrębnych zdjęciach, tak aby dla danego poziomu obciążenia można było porównać układy rys (np. 5 zdjęć z kolejnymi poziomami obciążeń).
19. Na rysunku D 0.1 – pokazano rysunek belki A2, a nie belki A1.

## **Rozdział 5 – Obliczenia numeryczne**

Ze względu na zastosowanie kombinacji nieliniowych modeli materiałowych i zachowania połączenia taśma CFRP-beton, analiza metodą elementów skończonych (MES) obejmuje kilka etapów. Szerszy opis tych obliczeń został zamieszczony w Załączniku A, który w tym wypadku właściwie opisuje mechanizmy zniszczenia każdej z belek i to zarówno w Rozdziale 5, jak i wskazanym Załączniku A. Ten rozdział jest w mniemaniu Recenzentki najlepiej opracowanym rozdziałem, który z jednej strony rzetelnie prezentuje analizy numeryczne, a z drugiej strony szczegółowo odzwierciedla wpływy parametrów zmiennych warunkujące ich różnorodność. Ciekawa jest też analiza nieciągłości wzmocnienia taśmami CFRP na nośność elementów i ich odkształcalność. Ten rozdział zasługuje na pochwałę i podnosi wartość merytoryczną pracy.

### **Rozdział 6 – Podsumowanie**

1. Nie jest prawdą, że wady sposobu kotwienia nie wpłynęły na mechanizmy zniszczenia. Belki typu A zniszczyły się według schematu (*IC - Intermediate Crack Debonding*), a belki typu B uległy zniszczeniu przez (*CCS - Concrete Cover Separation*).
2. Można się zgodzić z przewidywaniem, które określa brak znaczącej różnicy między wartościami obciążenia granicznego w belkach serii B, w których zastosowano niedobory przyczepności taśm do 10% całkowitej powierzchni wzmocnienia. Różnica nie przekraczała 5,1%, co było spowodowane innym mechanizmem zniszczenia (*CCS*) w porównaniu do belek typu A (*IC*). Warto jednak zauważyć, że w belkach serii B nie badano belki bez defektów, co szczególnie warunkuje wyniki badań uzyskane w tej serii. Przypuszczenie, że obciążenie niszczące wzmocnionej belki typu B może być zbliżone do wartości uzyskanych w przeprowadzonych badaniach, jest raczej ryzykowne.
3. Nie zaobserwowano żadnych istotnych różnic w sposobie zachowania się wzmocnionych belek pod wpływem zarysowania i sztywności pomiędzy wszystkimi belkami w każdej serii. Wady te nie wpłynęły istotnie na układ rys w belkach. W badanym zakresie wskaźników wad nie zaobserwowano żadnej zmiany przewidywanego sposobu zniszczenia spowodowanych charakterem zniszczenia. Oznacza to, że wady przyczepności taśm w dowolnej lokalizacji na długości belki nie miały wpływu na charakter zniszczenia wzmocnionych belek. W ten sposób 60% poziom braku przyczepności spowodował około 16% spadek maksymalnej nośności na zginanie.
4. Nośność na zginanie w zależności od wielkości uszkodzeń została aproksymowana za pomocą wielomianu drugiego rzędu. Dla takiej geometrii belki i jej wzmocnienia, nośność na zginanie może być oszacowana zgodnie z wyznaczoną zależnością opartą na rejestrach wad połączenia stwierdzonych na długości taśmy CFRP.
5. Najmniejszy 5% współczynnik uszkodzeń dla przeprowadzonej analizy był reprezentowany przez sztuczny ubytek o rozmiarze 120x120mm. Dlatego też, z punktu widzenia oceny nieniszczącej, uzyskane wyniki mogą w przybliżeniu wskazywać na znaczenie wymaganego zakresu dokładności rozpoznawania uszkodzeń za pomocą przyrządów detekcyjnych i analizy obrazu.



#### **4. Uwagi redakcyjne**

Praca jest napisana bardzo zwięźle, widać, że była pisana w ogromnym pośpiechu i powinna być poddana szczegółowej korekcie edycyjnej. Może należałoby ją napisać po polsku, co zmniejszyłoby zakres gramatycznych błędów językowych. Szereg rysunków prezentujących zbiorcze wyniki badań wszystkich belek powinno być podzielonych, a ponadto szczegółowo opisanych w Załącznikach.

#### **5. Opinia o dorobku naukowym i praktycznym Autora**

Dorobek naukowy mgr inż. Rafała Białożora, nie jest może imponujący, ale za to dorobek praktyczny jest znaczący. Uczestniczył w praktykach i stażach w kraju i zagranicą. Od 2015 roku pracował w firmie ULMA Construcccion Polska S.A., na stanowisku młodszego asystenta w zakresie projektowania systemów deskowań. W latach 2016-2017 pracował na stażu rocznym w Pekinie w firmie SARDINI GROUP INC. na stanowisku projektanta konstrukcji w zakresie projektowania i weryfikacji statyczno-dynamicznej układów konstrukcyjnych złożonych węzłów stalowych. Zaprojektował „Thai Boon Roong Twin Tower”- zespół budynków o wys. 560m; Kambodża Qinghe oraz Guangzhou Railway Station. Od 2017 roku na stałe pracował w firmie Inżynierskiej Statyk Sp. z o.o. Sp.k. na stanowisku Projektanta/Programisty w zakresie projektów PB i PW obiektów kubaturowych i użyteczności publicznej. Opracował obliczenia statyczne, dynamiczne, wyboczeniowe i projektowanie parametryczne konstrukcji. Podejmował również zagadnienia optymalizacji elementów konstrukcji stalowych, żelbetowych. Współpracował z architektami i wykonawcami. Uczestniczył w wielu przetargach publicznych oraz od inwestorów prywatnych. Do najważniejszych można zaliczyć: Zintegrowane Centrum Komunikacyjne w Lublinie - unikatowa konstrukcja stalowa słupów wraz z przekryciem strukturalnym oraz Fabrykę Wody w Szczecinie - kompleks obiektów parku wodnego wraz ze strefą rekreacji w konstrukcji żelbetowej i drewnianej wraz z eliptycznym przekryciem budynku w konstrukcji stalowej.

W zakresie publikacyjnym ma Indeks Hirscha: 1.

Opublikował 15 pozycji literaturowych, w tym:

- 1 publikacja w czasopiśmie „*International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*”, vol. 30, nr 5, 2020, s. 2655-2668, DOI:10.1108/HFF-04-2019-0278, IF(4,17); (100 pkt).
- 3 publikacje w czasopiśmie „*Izolacje*” (20 pkt).
- 1 publikacja z 64 Scientific Conference of the Committee for Civil Engineering of the Polish Academy of Sciences and the Science Committee of the Polish Association of Civil Engineers (PZITB), KRYNICA 2018, publikacja w MATEC Web of Conferences, vol. 262, 2019, EDP Sciences (5 pkt).
- jest współautorem 2 monografii doktoranckich: Implementacja algorytmu genetycznego w środowisku modelowania parametrycznego do zastosowania optymalizacji konstrukcji, vol. 715, 2018, Politechnika Śląska, ISBN 978-83-7880-539-7, Nieliniowa analiza czasowa budynku wysokiego poddanego wpływom sejsmicznym; Praca zbiorowa / Bzówka Joanna (red.), 2016, Politechnika Śląska, ISBN 978-83-7880-365-2 oraz wielu angielskich publikacji konferencyjnych.

## 6. Podsumowanie recenzji

W recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Rafał Białozor wykazał się podstawową znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem pracy oraz umiejętnościami rozwiązywania problemów teoretycznych. Zaproponował ciekawą tematykę numerycznego podejścia do analizowanego tematu wzmocnienia elementów żelbetowych z defektami wzmocnienia w różnych zakresach obszaru wzmocnienia.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Rafała Białozora pt. „Analiza wpływu defektów przyczepności na zachowanie belek żelbetowych wzmocnionych materiałami CFRP” w podstawowym stopniu spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. z 2003 r., Nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) oraz w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668). W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Renata Kotynia  
Politechnika Łódzka, Katedra Budownictwa Betonowego