

Dr hab. inż. Grzegorz Golewski, prof. PL  
Politechnika Lubelska  
Wydział Budownictwa i Architektury  
ul. Nadbystrzycka 40  
20-618 Lublin

Lublin, dnia 2019.04.26

## **RECENZJA**

### **Rozprawy doktorskiej mgra inż. Jacka Zychowicza**

#### **pt.: „Badania doświadczalne i numeryczne belek betonowych zbrojonych płaskimi siatkami o kratownicowym układzie prętów”**

#### **1. Podstawa opracowania recenzji**

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo z dnia 19.03.2019 r., skierowane do mnie przez Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej, prof. dr hab. inż. Adama Stolarskiego, realizującego decyzję Rady Wydziału z dn. 13.03.2019 r. (umowa nr 83/4000/501/2019). W piśmie Dziekan Stolarski zwrócił się z prośbą o dokonanie recenzji rozprawy doktorskiej mgra inż. Jacka Zychowicza pt.: „Badania doświadczalne i numeryczne belek betonowych zbrojonych płaskimi siatkami o kratownicowym układzie prętów”. Do pisma załączono kopię rozprawy, której promotorem był prof. dr hab. inż. Adam Stolarski, a promotorem pomocniczym - dr inż. Anna Szcześniak.

#### **2. Opis i wstępna ocena pracy**

Dysertacja napisana w języku polskim objęta jest jednym woluminem. Objętość rozprawy stanowią 84 strony, zawierające tekst pisany komputerowo z licznymi wzorami, w tym 72 rysunki, 6 tablic oraz 31 pozycji bibliograficznych i jeden patent. Treść opracowania podzielono na 6 rozdziałów.

Pod względem stylistycznym praca napisana jest poprawnie, zwięzłym językiem z nielicznymi usterkami stylistycznymi i literowymi. Pod względem edytorskim jest bez większych zastrzeżeń, z wyróżniającą się grafiką rysunków. W treści rozprawy brakuje niestety streszczeń zarówno w języku

polskim jak i angielskim, które zwyczajowo zamieszcza się w opracowaniach tego typu. W pracy nie ma również, bardzo pomocnego w czytaniu rozpraw naukowych, spisu ważniejszych oznaczeń.

### 3. Uwagi ogólne dotyczące tematyki pracy

Doskonalenie projektowania konstrukcji żelbetowych i optymalizacja doboru zbrojenia w elementach konstrukcyjnych ma ogromne znaczenie techniczne i ekonomiczne. Dlatego też wraz z rozwojem konstrukcji żelbetowych realizowane są intensywnie w tym zakresie prace naukowo-badawcze i wdrożeniowe, zarówno w skali krajowej jak i międzynarodowej.

Dobrym przykładem w tej działalności jest recenzowana praca doktorska mgr inż. Jacka Zychowicza, przyczyniająca się do postępu w zakresie optymalnego i bardziej świadomego doboru zbrojenia do konstrukcji żelbetowych, wykonana pod kierunkiem prof. A. Stolarskiego. W nauce polskiej jest to temat intensywnie rozwijany i mający duże uznanie na świecie.

Tematem szczegółowo analizowanym w pracy jest odjęta próba wykorzystania w elementach żelbetowych innowacyjnego systemu zbrojenia. Jego istota polega na zastosowaniu nowego układu siatki do zbrojenia betonu składającej się z prętów podłużnych – pasów, oraz połączonych z nimi i wzajemnie ze sobą przez spajanie (zgrzewanie lub spawanie) prętów poprzecznych – krzyżulców, w układzie kratownicy hiperstatycznej (przesztywnionej). System płaskich siatek do zbrojenia betonu o kratownicowym układzie prętów ma siedem charakterystycznych wyróżniających się cech. Ich szczegółowy opis zawarty jest w dysertacji.

Zasadnicze cele pracy są następujące:

- badania belek zginanych ze zbrojeniem tradycyjnym,
- badania belek zginanych z zastosowaniem kratownicowego układu zbrojenia o różnym stopniu zbrojenia podłużnego,
- analiza porównawcza wyników badań doświadczalnych,
- opracowanie oryginalnej metody numerycznej analizy obliczeniowej elementów ze zbrojeniem poprzecznym w postaci siatek kratownicowych z wykorzystaniem kratownicowego modelu belki i zastępczego modelu materiału,
- analiza weryfikacyjna metody obliczeniowej.

Powyższe cele pracy jednoznacznie nawiązują do tematu rozprawy, a ich sformułowanie nie budzi wątpliwości. W toku ich realizacji wykonano badania doświadczalne belek żelbetowych o rozpiętości 3,0 m zbrojonych tradycyjnie i odpowiednio równoważnym zbrojeniem kratownicowym. W rozprawie przyjęto prawidłowe założenie, że o równoważności zbrojenia tradycyjnego i kratownicowego decyduje równowaga ich masy. Następnie przeprowadzono obliczenia numeryczne w programie Abaqus, do

którego zaaplikowano własny, oryginalny model zastępczego materiału prętów zbrojenia kratownicowego. W końcowej części dysertacji dokonano porównania wyników badań doświadczalnych z wynikami proponowanej metody obliczeniowej w zakresie nośności i ugięć.

Recenzowana rozprawa ma charakter analityczno-badawczy. W części badań własnych, dość dobrze opisanych w pracy, zaszła potrzeba użycia specjalistycznej aparatury i sprzętu pomiarowego. Przeprowadzony profesjonalnie proces badawczy uwiarygodnia uzyskane rezultaty. Zaproponowany, do walidacji wyników badań doświadczalnych, model numeryczny został prawidłowo sformułowany.

Wartości uzyskane w trakcie eksperymentów zostały potwierdzone obliczeniami numerycznymi z dosyć dobrą zbieżnością. Otrzymane wyniki poddane zostały wnikliwej i dogłębnej analizie z wyprowadzeniem wniosków pośrednich i końcowych.

#### 4. Charakterystyka pracy

Rozprawę doktorską otwiera **Wstęp** poprzedzony spisem treści. Układ tego rozdziału został skomponowany w bardzo ciekawy a jednocześnie oryginalny i niestandardowy sposób. Powoduje to, że czytając dysertację już na samym początku sprawia ona wrażenie bardzo interesującej lektury.

Pierwszy z podpunktów, zapoczątkowany myślą przewodnią, jest wprowadzeniem w tematykę tradycyjnego żelbetu oraz opisem nowoczesnych technik optymalizacyjnych konstrukcji tego typu. W rozdziale przytoczono m.in. pionierskie sposoby zbrojenia elementów żelbetowych zaproponowane już w 1904 r. przez Khan'a oraz Michella. Należy wspomnieć, że propozycje strukturalnego doboru zbrojenia w konstrukcjach, opracowane przez drugiego z przytoczonych autorów, znane bliżej jako „Struktury Michella”, wzbudzają do dzisiaj szerokie zainteresowanie i podziw wśród wielu inżynierów i konstruktorów. Oprócz opisu historycznego metod optymalizacyjnych autor zreferował również najnowsze osiągnięcia z tego zakresu, np. metodę topologicznej optymalizacji konstrukcji.

W kolejnym podrozdziale wstępu opisano zasady klasycznego zbrojenia betonu po czym w dalszej części rozprawy scharakteryzowano autorski sposób zbrojenia elementów żelbetowych.

W przedostatnim podpunkcie wstępu Autor zreferował wstępne wyniki badań belek żelbetowych o rozpiętości 1,0 m i przekroju poprzecznym 0,1 x 0,15 m z dwoma rodzajami zbrojenia, tj. zbrojenia tradycyjnego i równoważnego pod względem masy stali zbrojenia kratownicowego. Na podstawie tych badań doktorant stwierdził że wyniki uzyskane na elementach o małych gabarytach mogą nie do końca odzwierciedlać rzeczywistą pracę elementów żelbetowych występujących w konstrukcjach. W związku z tym uznał za celowe wykonanie badań na belkach o większych rozpiętościach i zróżnicowanym stopniu zbrojenia. Ta konkluzja skłoniła Autora do postawienia tezy pracy i jej głównych celów, które szczegółowo sformułowano w ostatnim podpunkcie wstępu.

Fakt zamieszczenia wyników badań już na początku rozprawy jest zabiegiem rzadkim i niestandardowym. W recenzowanej pracy opis tych badań jest jednak całkowicie zasadny gdyż pozwala zrozumieć czytelnikowi jaki jest jej główny cel. Mimo to ten podrozdział powinien być wydzielony jako oddzielny punkt w rozprawie, o czym wspomniano w dalszej części recenzji.

**Rozdział 2.** dysertacji, który jest najobszerniejszym, został w całości poświęcony opisowi badań zasadniczych. Przedmiotem eksperymentów były belki żelbetowe o rozpiętości 3,0 m, zbrojone zbrojeniem kratownicowym i odpowiednio masowo równoważnym zbrojeniem tradycyjnym. Dodatkowo belki miały zróżnicowane stopnie zbrojenia podłużnego. W toku eksperymentów przeprowadzono badania czteropunktowego zginania belek, które obejmowały ocenę: nośności, ugięcia, zarysowania i sposobu zniszczenia belek. Wykonano również badania pomocnicze parametrów materiałów wykorzystanych do wykonania belek. Obejmowały one ocenę wytrzymałości betonu na ściskanie oraz wytrzymałości na rozciąganie prętów stali zbrojeniowej. Na końcu tego rozdziału podano spostrzeżenia wynikające z przeprowadzonych eksperymentów.

W **Rozdziale 3.** rozprawy opisano, opracowany przez autora, nowy sposób obliczania nośności i przemieszczeń belek żelbetowych z kratownicowym układem zbrojenia. Zaproponowana metoda obliczeniowa, składająca się z trzech części, polega na włączeniu betonu do współpracy ze stałą zbrojeniową. Parametry odkształceniowo – wytrzymałościowe dla modelu wyznaczono zgodnie z zasadami teorii homogenizacji, które autor dokładnie opisał w rozprawie. Model materiału zastępczego, który był sumą modelu stali i modelu przyczepności betonu do stali pomnożonego przez współczynnik homogenizacyjny przedstawiono w bardzo czytelny sposób. **Rozdział 4.** zawiera porównanie i walidację wyników analizowanych parametrów uzyskanych w trakcie badań eksperymentalnych oraz obliczeń numerycznych, oraz analizę zachowania się poszczególnych elementów prętowych w trakcie procesu ich obciążania. W rozdziale tym szczegółowo wypunktowano charakterystyczne cechy zachowania modelu kratownicowego belek, ze względu na sposób realizacji obciążenia i warunki podparcia, zdiagnozowane w wyniku analiz numerycznych. Należy zaznaczyć, że uzyskano zadowalającą zgodność nośności modelu numerycznego z nośnością belek badanych doświadczalnie.

W **Rozdziale 5.** kończącym dysertację doktorską, dokonano syntetycznego zestawienia rezultatów badań i analiz oraz sformułowano wnioski końcowe. Stwierdzono również, że celowe jest prowadzenie dalszych badań doświadczalnych elementów żelbetowych z zastosowaniem zbrojenia kratownicowego w innych rodzajach elementów konstrukcyjnych, np. słupach lub płytach. Również opracowana metoda obliczeniowa kratownicowego modelu belki wymaga jeszcze ulepszenia i powinna być dalej rozwijana.

## 5. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska obejmuje naukowe opracowanie podstaw do oceny możliwości wykorzystania do zbrojenia konstrukcji żelbetowych nowego rodzaju zbrojenia w postaci płaskich siatek o kratownicowym układzie prętów. Należy uznać, że tematyka rozprawy jest istotna i aktualna, ma zarówno znaczenie poznawcze, jak i odniesienie do praktyki inżynierskiej.

W pracy, Autor dokonał oceny aktualnego stanu wiedzy w przedmiocie oraz przeprowadził serię badań wstępnych, na elementach belkowych o małych gabarytach, z wykorzystaniem zaproponowanego sposobu zbrojenia. Zrealizowane eksperymenty i analiza ich wyników pozwoliła na postawienie tezy rozprawy, że

- możliwe jest takie ukształtowanie prętów poprzecznych zbrojenia w elementach zginanych, które w stosunku do zbrojenia tradycyjnego w postaci strzemion zapewnią wyższy stopień jednorodności elementu wyrażający się bardziej równomiernym rozkładem naprężeń, bardziej równomiernym (rozproszonym) zarysowaniem o mniejszych szerokościach rys oraz wyższą nośnością i mniejszym ugięciem przy jednakowym obciążeniu.

Postawioną tezę Autor zamierzał udowodnić poprzez realizację pięciu celów szczegółowych. Zaproponował i wykonał badania eksperymentalne z wykorzystaniem finezyjnego oprzyrządowania pomiarowego a następnie przeprowadził obliczenia numeryczne dla elementów prętowych. Co istotne, do wykonania symulacji numerycznych zaproponował własny i oryginalny model materiału zastępczego z wykorzystaniem wymagającej teorii homogenizacji. Należy zauważyć, że wyniki badań eksperymentalnych wykazały dostateczną zbieżność z rezultatami obliczeń numerycznych.

Ustosunkowując się do oceny, zakresu i metod realizacji pracy doktorskiej należy stwierdzić, że Autor po wnikliwej analizie tematyki zagadnienia zrealizował poprawnie postawione cele pracy. Zastosował przy tym nowoczesne i dokładne narzędzia badawcze, obliczeniowe i analityczne. Przeprowadzone eksperymenty i symulacje numeryczne potwierdziły postawioną tezę rozprawy doktorskiej.

Podsumowując ocenę merytoryczną pracy stwierdzam, że doktorant:

- dla trafnie dobranego tematu rozprawy doktorskiej postawił naukową i oryginalną tezę oraz sposób naukowy przedstawił jej dowód,
- wykazał się dostateczną wiedzą w zakresie problemów dotyczących doboru i kształtowania zbrojenia w elementach żelbetowych,
- wykorzystał nowoczesne narzędzia badawcze, obliczeniowe i analityczne oraz zastosował naukowe metody obliczeń i analiz numerycznych.

## 6. Uwagi dotyczące pracy

## 6.1. Uwagi redakcyjne, edytorskie i formalne

- 1) Praca została skomponowana w nie do końca proporcjonalny sposób. Wstęp, który zazwyczaj w rozprawach doktorskich zajmuje od kilku do kilkunastu stron tutaj liczy ich aż 27. Stanowi to dokładnie 1/3 całej dysertacji wyłączając spis literatury. Korzystniej byłoby zrobić krótszy wstęp z pokazaniem przeglądu literatury, scharakteryzowaniem problemu naukowego, podaniem celów i tezy pracy, a punkt opisujący badania wstępne wydzielić w rozszerzonej formie jako oddzielny rozdział.
- 2) W pracy pomiędzy akapitami znajdują się większe odstępy niż w tekście zasadniczym. Nie jest to zabieg korzystny, którego unika się przy redagowaniu prac naukowych. Zastosowanie akapitów jest wystarczającym elementem do oddzielenia nowych myśli w treści rozprawy.
- 3) W spisie literatury i w kilku miejscach w tekście, np. na str. 4 przekręcono nawisko prof. Nagrodzkiej-Godyckiej. Zamiast Nagrodzka jest wpisane Zagrodzka. Recenzent zdaje sobie sprawę, że jest to wina autopoprawki programu word. Mimo to, w przyszłości przy pisaniu kolejnych rozpraw i artykułów naukowych sugeruje się zwrócić uwagę na ten problem i przed oddaniem tekstu do recenzji sprawdzić dokładnie jego treść.
- 4) Na str. 4 podane jest że norma do projektowania konstrukcji betonowych Eurokod 2 jest z 1991r. Dodatkowo błędny zapis tej normy, bez podania pełnej jej nazwy, zamieszczono w spisie literatury. Oryginalna wersja tej normy, tj. „Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings” pochodzi z 2004 r. W Polsce została ona natomiast wprowadzona we wrześniu 2008r.
- 5) Na rys. 3.3. oraz 4.1. i 4.2. występują za duże i nieproporcjonalne do wielkości rycin czcionki.
- 6) W kilku miejscach pracy występują błędy stylistyczne i zbyt rozbudowane zdania, np. w pierwszym akapicie p. 4.1.
- 7) W punkcie 2.7 podano około 10 spostrzeżeń z przeprowadzonych badań. Zamiast pisać każde kolejne zdanie od akapitu i dodawać do tego po każdym z nich prześwit w tekście, korzystniej byłoby je wypunktować.
- 8) W pracy jako separator dziesiętny zastosowano kropkę. Nie jest to zapis poprawny, gdyż w języku polskim separatorem dziesiętnym jest przecinek. Również większość krajów na świecie stosuje tą metodę, w tym prawie wszystkie kraje europejskie z wyjątkiem Szwajcarii i Wielkiej Brytanii. Kropki używa się natomiast przy redagowaniu artykułów do zagranicznych journali. Wykorzystuje ją również do zapisów dziesiętnych około kilkanaście krajów na świecie, m.in. Chiny czy USA.
- 9) Siły na rysunkach 4.8-4.10 podane są w N, podczas gdy w tekście opisywane są w kN. Z uwagi na fakt, że siły podawane w N przyjmują duże wartości rzędu od kilku do kilkudziesięciu tysięcy, korzystniejszym rozwiązaniem byłoby oznaczenie ich na rysunkach tak samo jak w tekście, czyli w kN.
- 10) W całej pracy indeksy przy zmiennych pisane są pochyłą czcionką. Poprawnie tylko zmienna powinna być zapisana w ten sposób, natomiast indeksy należy zapisywać prostą czcionką.

## 6.2. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

1) Przegląd literatury we wstępie, oraz pozostałe podrozdziały pierwszego punktu zaprezentowano na zadowalającym poziomie. Mimo to dostrzeżono w tej części pracy pewne istotne braki.

Po pierwsze, przytaczając polskich autorów prac z zakresu konstrukcji żelbetowych takich jak profesorowie: Starosolski, Knauff, Łapko czy Zybura pominięto postać i wkład w rozwój tej dyscypliny prof. Kaliksta Grabca.

Przy opisie różnych przykładów z zakresu optymalizacji konstrukcji żelbetowych brakuje niestety informacji na temat jednego z bardziej charakterystycznych elementów konstrukcyjnych, w którym zastosowano zabieg optymalizacji materiału. Jaskrawym przykładem w tym zakresie jest niewątpliwie kształtowanie krótkich wsporników o przekroju trapezowym zamiast prostokątnego. Z uwagi na prawie zerowe wartości naprężeń zarówno rozciągających jak i ściskających w dolnej strefie wspornika prostokątnego optymalnym rozwiązaniem okazało się „ściananie” dolnych stref tych elementów i kształtowanie ich jako ustrojów o przekroju trapezowym.

W podrozdziale 1.2. wstępu, tzn. po opisie klasycznego zbrojenia betonu, brakuje podsumowania i wskazania powodów zastosowania nowego rodzaju zbrojenia. Jeżeli uznać barkę Lambota jako pierwszą konstrukcję żelbetową to historia tego materiału liczy już około 170 lat. Pierwsza klasyczna teoria żelbetu opracowana przez Christoph'a pojawiła się natomiast równo 120 lat temu. Wydaje się, że przez wszystkie te lata konstrukcje zbrojone w sposób tradycyjny spełniały swoje zadania w sposób zadowalający i wystarczający. Dlaczego zatem należy szukać nowych rozwiązań. Autor w tym miejscu powinien ostrzej zaznaczyć powód przyjęcia nowego sposobu zbrojenia konstrukcji betonowych.

- 2) Pokazując schematy nowego rodzaju zbrojenia korzystnie byłoby pokazać również jego zdjęcia.
- 3) W badaniach wstępnych przyjęto schemat statyczny belki trójpunktowo zginanej, natomiast w badaniach zasadniczych czteropunktowo zginanej. Z czego wynikają te różnice ?
- 4) W przypadku badań pomocniczych betonu nie podano żadnych informacji na temat cementu i kruszywa wykorzystanego do wykonania próbek, oraz wskaźnika w/c. Należałoby uzupełnić te dane.
- 5) W tekście jest napisane że zbadano konsystencję mieszanki betonowej metodą opadu. Chodzi tutaj chyba o metodę stożka opadowego. W dalszej części pracy nie podano żadnych informacji o wynikach tych testów.
- 6) Badania wytrzymałości na ściskanie betonu oceniano na 3 próbkach. W opracowaniach naukowych nie jest to wystarczająca ilość elementów badawczych. Preferowane jest min. 6 próbek. Z uwagi jednak na fakt, że beton był pobierany z wytwórni przemysłowej można uznać tą ilość próbek za wystarczającą. Świadczą o tym również dosyć zbieżne wyniki pomiędzy poszczególnymi wartościami wytrzymałości.

- 7) W pracy nie napisano przez jaki okres próbki były pielęgnowane w warunkach wilgotnych. W treści pracy nie jest też nigdzie napisane po jakim czasie od zaformowania badano zarówno belki jak i kostki. Można jedynie domniemywać, że był to normowy okres 28 dni.
- 8) Zarówno przy wykonywaniu badań wstępnych jak i zasadniczych nie wspomniano jaką przyjęto klasę ekspozycji. Założono natomiast, że grubość otuliny będzie wynosiła 15 mm. Proszę wyjaśnić z czego wynikała właśnie taka wartość.
- 9) Na str. 17 rozprawy występuje nieścisłość informacji. W 3. akapicie jest mowa o belkach mających rozpiętość 1,0 m, natomiast w 5. - 1,20 m. Poprawną wartością jest tutaj chyba rozpiętość w osiach podpór równa 1,0 m.
- 10) Na str. 58 pojawia się pojęcie granicy wytrzymałości na rozciąganie. Prawidłowo powinno być chyba zapisane wytrzymałość na rozciąganie, tak jak podano to w Tab. 3.1. Problemy tego typu rozwiązałby spis ważniejszych oznaczeń, w którym byłyby podane wszystkie niezbędne i powtarzające się parametry. Wtedy nie jest konieczne zastanawianie się i wyjaśnianie przy każdym wzorze i tabeli tych samych oznaczeń.

## **7. Najważniejsze osiągnięcia w pracy**

- 1) Dobór tematyki rozprawy doktorskiej jest aktualny, o trendzie rozwojowym, z wyraźnymi elementami oryginalnymi.
- 2) W pracy zaprezentowano pełne (kompleksowe) rozwiązanie podjętego problemu naukowo-badawczego (studia literaturowe, programowanie badań, badania wstępne modelowe i zasadnicze, zastosowana różnorodna aparatura badawcza, pełna analiza zbioru licznych danych, wnikliwy opis analityczny, sformułowany model numeryczny, poprawne i prawidłowe wnioskowanie, wskazanie kierunków dalszych badań).
- 3) Do najważniejszych szczegółowych osiągnięć doktoranta można zaliczyć:
  - zaproponowanie nowego, innowacyjnego i wszechstronnego sposobu zbrojenia elementów betonowych w postaci siatek o kratownicowym układzie prętów, które można stosować do zbrojenia: belek, płyt, słupów i fundamentów żelbetowych,
  - opracowanie nowego sposobu obliczania nośności i przemieszczeń belek żelbetowych z kratownicowym układem zbrojenia,
  - opracowanie modelu materiału zastępczego z wykorzystaniem teorii homogenizacji,
  - wykazanie, na podstawie analizy wyników badań doświadczalnych, usztywniającego wpływu zbrojenia kratownicowego na rozkład wyężenia na większą część belki niż w przypadku zastosowania zbrojenia poprzecznego w postaci strzemion.



## 8. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Jacka Zychowicza pt.: „Badania doświadczalne i numeryczne belek betonowych zbrojonych płaskimi siatkami o kratownicowym układzie prętów” stanowi oryginalne i samodzielne rozwiązanie zagadnienia naukowego. Przedstawiona praca jest dziełem wykonanym na dobrym poziomie. Autor dysertacji udowodnił umiejętność pracy naukowej rozwiązując określony problem naukowy. Do tego celu użył właściwych w stosunku do danego zadania metod i uczynił to samodzielnie.

Doktorant podjął jednoznacznie sformułowany problem naukowo-badawczy o wysokim stopniu skomplikowania i dużych walorach analitycznych i aplikacyjnych. Podjęty temat wymagał znajomości współczesnej wiedzy z obszaru konstrukcji żelbetowych i mechaniki betonu oraz umiejętności prowadzenia analiz w tym numerycznych i statystycznych. Wymagał także perfekcyjnej znajomości badań eksperymentalnych.

W przedstawionej rozprawie Autor wykazał umiejętność przeprowadzenia studiów literaturowych, programowania, organizacji i samodzielnego prowadzenia badań, analizy wyników badań i wyciągania wniosków. Sformułowane w rozprawie cele zostały moim zdaniem osiągnięte, a teza udowodniona. Co cenne, Autor podjął także próbę sformułowania uzasadnionych kierunków dalszych badań.

Recenzent uważa, że z uwagi na wysoką oryginalność i wielowątkowość rozprawy dobrym rozwiązaniem byłoby opublikowanie wyników przedstawionych badań i analiz w zagranicznych journalach o wysokim wskaźniku impact factor, np.: Construction and Building Materials, Composite Structures, Engineering Structures lub Archives of Civil and Mechanical Engineering.

Reasumując stwierdzam, że mgr inż. Jacek Zychowicz wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w obszarze konstrukcji żelbetowych, a ponadto umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, zaś recenzowana rozprawa doktorska stanowi nowoczesne podejście i rozwiązanie określonego zadania naukowego. **Spełnia tym samym wymagania wynikające z Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r. W związku z powyższym wnioskuję o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Ponadto, stwierdzając wysoki poziom naukowy i aplikacyjny dysertacji, wnioskuję do Rady Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej o przyznanie rozprawie doktorskiej napisanej przez mgra inż. Jacka Zychowicza wyróżnienia.

Grzegorz Golewski

6