

Prof. dr hab. inż. Wojciech Gilewski
Instytut Inżynierii Budowlanej
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Warszawska

e-mail: w.gilewski@il.pw.edu.pl

Warszawa, 9 lutego 2022

Opinia

o pracy doktorskiej mgr inż. Michała Bakalarza
pt. „EFEKTYWNOŚĆ WZMACNIANIA ZGINANYCH BELEK Z DREWNA KLEJONEGO
WARSTWOWO Z FORMIRÓW ZA POMOCĄ KOMPOZYTÓW WŁÓKNISTYCH”

wykonanej pod kierunkiem
dr. hab. inż. Pawła Kossakowskiego, prof. PŚk

Podstawa opracowania

Podstawą do wykonania recenzji jest pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport, prof. dra hab. inż. Jerzego Wawrzeńczyka z dnia 25 listopada 2021 r. i Uchwała Nr 23/2021 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 9 listopada 2021 r.

Ogólna charakterystyka dysertacji

Recenzowana rozprawa dotyczy mało zbadanego obszaru wzmacniania zginanych belek zbudowanych z forniru klejonego warstwowo (LVL). Praca ma charakter doświadczalny i zawiera obszerny materiał który pochodzi z badań własnych Autora. Do analizy wyników badań wykorzystano z powodzeniem system optyczny ARAMIS i oprogramowanie wizualne w środowisku DYNAMO.

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów (289 stron), spisu treści, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykazu skrótów, oznaczeń i akronimów, spisu tabel i spisu rysunków oraz zestawienia 243 pozycji literatury. Rozprawa napisana jest w języku polskim.

Treść rozprawy

Rozdział 1 – Wstęp – 4 strony

We wprowadzeniu zasygnalizowano potrzebę napraw i wzmacniania konstrukcji drewnianych i drewnopochodnych, w tym brak odpowiednich badań dla forniru klejonego warstwowo (LVL). Autor postawił problem naukowy, który zamierza rozwiązać, oraz przedstawił zawartość poszczególnych rozdziałów pracy. Na koniec Autor postawił hipotezy, które zamierza udowodnić i ograniczenia prowadzonych rozważań.

Rozdział 2 – Analiza literatury – 53 strony

wpłynęło dnia:
2022-02-16

Data

Podpis

W rozdziale najpierw omówiono potencjalne przyczyny konieczności wzmacniania konstrukcji drewnianych i materiały kompozytowe używane do wzmacniania. Następnie opisano różne aspekty i możliwości wzmacniania, wraz ze studiami kilku wybranych przypadków: dwóch obiektów kubaturowych i dwóch mostów. Zwrócono uwagę na nieliczne prace w tym zakresie, które dotyczą klejonych fornirów LVL.

Rozdział 3 – Badania własne – 71 stron

W rozdziale przedstawiono na początku wyniki badań wstępnych swobodnie podpartych belek LVL o wymiarach 45x100x1700mm poddanych zginaniu. Następnie przedstawiono badania materiałowe LVL w zakresie oszacowania gęstości i wybranych wytrzymałości, oraz badania własności kleju i kompozytów do wzmacniania. Trzeci fragment rozdziału to wyniki badań zginania elementów pełnowymiarowych o wymiarach 45x200x3400mm, czyli dwa razy wyższych i dwa razy dłuższych od badanych wcześniej.

Rozdział 4 – Zastosowanie systemu ARAMIS – 69 stron

W części początkowej rozdziału opisano system optyczny ARAMIS. Następnie przedstawiono wyniki zastosowania tego systemu do przeprowadzonych badań, w zakresie opisu odkształceń, deformacji, sztywności, modułu sprężystości przy zginaniu i ciągliwości.

Rozdział 5 – Zastosowanie programowania wizualnego

W rozdziale opisano i zastosowano technikę programowania wizualnego z wykorzystaniem samodzielnie opracowanego skryptu.

Rozdział 6 – Analiza analityczna - 25

W rozdziale przedstawiono model analityczny elementów pełnowymiarowych, w którym uwzględniono wzmocnienie. Modelowano naprężenia, położenie osi obojętnej, wytrzymałość na zginanie i sztywność na zginanie.

Rozdział 7 – Podsumowanie, wnioski i kierunki dalszych badań

W rozdziale podsumowano wyniki prac i sformułowano wnioski. Przedstawiono także ogólnie możliwe kierunki dalszych prac.

Literatura – 18 stron

Literatura obejmuje spis 243 prace, wśród których odnaleźć można normy projektowe, karty produktów, raporty z badań, rozprawy doktorskie, referaty konferencyjne, książki i publikacje w czasopismach naukowych.

Ocena rozprawy i uwagi krytyczne

Ocena trafności wyboru tematyki

Wybór tematyki rozprawy został dokonany trafnie, jeśli weźmie się pod uwagę brak w literaturze prac doświadczalnych dotyczących wzmacniania belek klejonych z fornirów (LVL). Nie dowiedziono jednak, że rozprawa dotyczy problemu ważnego z punktu widzenia praktycznego, a prace o charakterze doświadczalnym powinny dotyczyć takich zagadnień. Temat rozprawy i narzędzia zastosowane do zrealizowania jej celów są poprawne, a opracowanie jest na poziomie wiedzy współczesnej.

Zawartość i układ rozprawy

Praca jest kompletna a jej układ jest logiczny i prawidłowy.

Ocena pracy; uwagi krytyczne i dyskusyjne; pytania; uwagi szczegółowe

W Rozdziale 1, we Wprowadzeniu Autor uzasadnia podjęcie tematu niewielką liczbą opublikowanych prac dotyczących wzmacniania kompozytów LVL, a wręcz ich brakiem, w literaturze polsko-języcznej. Recenzent nie znajduje jednak uzasadnienia, że wzmocnienia takie są w ogóle potrzebne i że należy je wykonywać za pomocą technik stosowanych w drewnie i innych kompozytach drewnianych, takich jak np. drewno klejone warstwowo. Mamy tym samym do czynienia z rzadko spotykaną pracą doktorską doświadczalną dotyczącą problemu niemal czysto hipotetycznego (teoretycznego).

W podrozdziale Problem naukowy napisano, iż jest nim „opisanie pracy statycznej zginanych belek z drewna klejonego warstwowo z fornirów”. Wydaje się, że jest to stwierdzenie ogólne i nic nie znaczące. Nie wiadomo o jaki opis chodzi, a określenie „praca statyczna” jest nieprecyzyjne, o ile w ogóle właściwe. Autor pisze dalej o celu praktycznym rozprawy, którym jest „opracowanie wytycznych technologicznych, na podstawie których określone zostaną procedury dotyczące stosowania materiałów FRP jako wzmocnienia biernego belek z forniru klejonego warstwowo”. Takich wytycznych jednak w pracy nie podano. Zadania zdefiniowane aby rozwiązać te nieco enigmatyczne cele są już jednak podane właściwie. Realizacja tych zadań w pełni uzasadnia podjęcie tematu.

W dalszej części Rozdziału 1 poprawnie sformułowano hipotezy, które w zakresie jakościowym są intuicyjnie wyczuwalne, ale w zakresie ilościowym belek LVL są już warte udowodnienia. Pewne zastrzeżenia budzi brak precyzji niektórych określeń w drugiej części opisu hipotezy 2, oraz w hipotezie 4 gdzie napisano, że „rozkład odkształceń przyjmuje nieliniową lub liniową krzywiznę”. Postawione hipotezy stają się w pełni zrozumiałe dopiero po przeczytaniu wniosków.

Pozytywnie ocenić należy zdefiniowanie przez Autora ograniczeń pracy.

Bardzo obszerny Rozdział 2 – Analiza literatury przedmiotu w opinii recenzenta jest napisany niewłaściwie. W uzasadnieniu zwracam uwagę na następujące problemy:

1. Podpis pod Rys. 2.11 jest błędny.
2. Przy analizie literatury Autor opisuje co omawiano w publikacjach, a nie co z badań wynika. Kluczowe w publikacjach są wnioski z badań, ich ocena i zdefiniowanie obszarów możliwych do podjęcia oryginalnych poszukiwań.
3. Autor zwraca uwagę na niewielką liczbę prac dotyczących wzmacniania belek LVL, które dotyczą przede wszystkim wzmacniania wokół otworów. Skoro tak jest, to wielka szkoda, że Autor nie omówił ich dokładnie, nie ocenił krytycznie i nie dokonał ich syntezy. Stracił On tym samym rzadką okazję, gdy taka synteza w ogóle jest możliwa. Zazwyczaj w problemach naukowych mamy do czynienia z setkami prac, których dokładne omówienie, nie mówiąc o syntezie są niemal niewykonalne.
4. Autor opisuje wnikliwie i dokładnie rozliczne przypadki w których wzmacnianie konstrukcji drewnianych jest konieczne, oraz podaje jak można wzmocnienie zrealizować.

Czy jednak właściwe jest ekstrapolowanie tych przypadków i technik na belki LVL ? Nawet jeśli w literaturze nie ma prac dotyczących problemów z belkami LVL, to uzasadnienie zastosowania takich technik wzmacniania, jak przy innych kompozytach należy do Autora i pomysłodawcy badań. Takiego uzasadnienia w pracy nie ma.

5. W pracy nie podano uzasadnienia dlaczego wybrano takie, a nie inne studia przypadków. Czy mają one jakikolwiek związek z badaniami prowadzonymi w pracy ? Wydaje się, że nie.

Reasumując, z analizy literatury nie wynika konieczność i celowość podjęcia badań zrealizowanych w opiniowanej pracy. Nie wskazano także, czy i dlaczego zastosowane w pracy techniki wzmocnienia są właściwe przy zginaniu belek LVL.

Rozdział 3 – Badania własne stanowi zaplanowany, logiczny i uporządkowany cykl badań doświadczalnych przeprowadzonych przez Autora w celu udowodnienia hipotez przedstawionych we Wprowadzeniu. Ten rozdział oceniam bardzo wysoko, a przedstawione poniżej wątpliwości proszę potraktować jako dyskusyjne a nie krytyczne.

1. Autor zdefiniował dwie skale badań: laboratoryjną i pełnowymiarową. W skali pełnowymiarowej belki są dwa razy dłuższe i dwa razy wyższe od badanych w skali laboratoryjnej, przy zachowaniu tej samej szerokości. Czy można ocenić jednoznacznie efekt skali ? Czy można próbować wyciągnąć wnioski dotyczące innych skal lub wymiarów, jeśli takie występują w belkach LVL ?
2. Autor słusznie zauważył, że liczba trzech badanych w skali laboratoryjnej próbek daleka jest od liczby, która uzasadnia zastosowanie technik statystycznych. Proszę uzasadnić głębiej zdanie zawarte na stronie 100, że liczba próbek jest „satysfakcjonująca na założonym poziomie”.
3. Czy liczba próbek 5 w skali pełnowymiarowej jest satysfakcjonująca z punktu widzenia metod statystycznych ? Jak można to uzasadnić ?
4. Czy proponowane wzmocnienia belek można będzie zrealizować w hipotetycznym przypadku konieczności wzmacniania w rzeczywistej konstrukcji ? Jak będzie wtedy przebiegał proces montowania/klejenia wzmocnienia ?

Przedstawione z Rozdziale 4 zastosowanie systemu optycznego ARAMIS stanowi cenne uzupełnienie badań. Autor wykazał się znajomością i umiejętnością wykorzystania tego narzędzia. W pracy zaznaczono, że analizie optycznej podlegała powierzchnia jednej ze stron bocznych belek. Czy, zdaniem Autora jest to w pełni uzasadnione w belkach LVL ? Czy analiza optyczna drugiej strony nie doprowadziłaby do innych wyników ?

W Rozdziale 5 opisano i twórczo wykorzystano oprogramowanie wizualne w środowisku Dynamo. Autor wykazał się umiejętnościami, które pozwalają na wizualizowanie wyników obliczeń doświadczalnych w kreatywny sposób, przy wykorzystaniu nowoczesnych narzędzi.

Rozdział 6 zatytułowany jest Analiza analityczna. Określenie to jest językowo błędne. Rozdział dotyczy modelu matematycznego zaproponowanego do opisu badanych belek.

Wyniki z modelu matematycznego porównano z badaniami eksperymentalnymi i oceniono zgodność obu modeli. W przekonaniu recenzenta rozdział ten nie wnosi szczególnej wartości do opiniowanej pracy.

W Rozdziale 7 zamieszczono uwagi końcowe i wskazano kierunki dalszych badań. Zdaniem recenzenta Autor udowodnił postawione w punkcie 1.4 hipotezy:

- wykazał, że nośność przekrojów zginanych wykonanych z fornirów klejonych warstwowo LVL wzmocnionych materiałami kompozytowymi FRP przyklejonymi za pomocą klejów na bazie żywicy znacznie wzrasta zarówno w stanie użytkowalności jak i nośności,
- wykazał, że nośność na zginanie belek wzmocnionych tkaninami wzrasta wraz ze zwiększaniem stopnia pokrycia powierzchni zewnętrznych,
- wykazał, że belki wzmocnione materiałami FRP charakteryzują się wyższą ciągliwością podczas zginania w aspekcie ugięcia i absorpcji energii,
- wykazał, że, rozkład odkształceń przy zniszczeniu belek wzmocnionych jest istotnie różny niż belek nie wzmocnionych.

Autor określił ilościowo ww. cechy przy różnych technologiach wzmacniania, co jest oryginalnym osiągnięciem w pracy.

Kierunki dalszych badań wskazano może nieco na wyrost i zbyt ogólnie.

Język i redakcja pracy

Praca zawiera pewne nieścisłości i błędy językowe, co utrudnia czytanie i niepotrzebnie obniża wartość rozprawy. Wymienimy kilka z nich:

- str. 19 – „niski ciężar” – raczej mały ciężar;
- str. 25 – „lokalny rozkład drewna” – co Autor ma na myśli;
- str. 53 – „deformacja elementu może być rozpatrywana w zakresie ugięcia, krzywizny lub odkształcenia” – jest to bardzo nieprecyzyjne określenia;
- recenzent radzi unikać określeń „w stosunku” i „w oparciu”, które wprawdzie funkcjonują w języku polskim, ale mogą być niejednoznacznie rozumiane.

Wniosek końcowy

Pomimo przedstawionych powyżej uwag krytycznych należy stwierdzić, że Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej przeprowadził badania na wysokim poziomie. Wymagały one szerokiej wiedzy, a także umiejętności

Autor udowodnił hipotezy postawione na początku pracy.

Recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik ustaw nr. 65, poz. 595) i dlatego stawiam wniosek o dopuszczenie pracy mgr inż. Michała Bakalarza do publicznej obrony.

W. Gileński