Dr hab. inż. Jacek HULIMKA prof. PŚ
Politechnika Śląska
Katedra Inżynierii Budowlanej
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Gliwice, luty 2019r.

RECENZJA
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANI MGR INŻ. AGNIESZKI WDOWIAK „WŁAŚCIWOŚCI STRUKTURALNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE ZGINANYCH BELEK DREWNIANYCH WZMOCNIONYCH KOMPOZYTAMI WŁÓKNISTYMI"

Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej, Pana profesora Marka Iwańskiego, wyrażoną w piśmie z dnia 31 stycznia 2019 roku.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani magister inżynier Agnieszki Wdowiak pt. „Właściwości strukturalno-wytrzymałościowe zginanych belek drewnianych wzmocnionych kompozytami włóknistymi". Praca ta została przygotowana na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej pod kierunkiem Pana dra hab. inż. Lecha Rudzińskiego prof. PŚk jako promotora i Pana dra inż. Andrzeja Kronera jako promotora pomocniczego.

Opiniowana dysertacja zawarta jest w dwóch tomach: zasadniczym, liczącym 213 stron i załączniku o objętości 401 stron.

Problematyka rozprawy

Jako temat swojej rozprawy Doktorantka wybrała problematykę wzmacniania belek drewnianych przy użyciu kompozytów zbrojonych włóknami. Zagadnienie to, chociaż wielokrotnie już badane i opisywane, ma duże znaczenie praktyczne. Tym samym temat badawczy podjęty przez Doktorantkę należy uznać jako aktualny i ważny.

W powyższym kontekście Doktorantka postawiła trzy tezy, a mianowicie:

- wzmocnienie belek drewnianych przy użyciu mat z włókien węglowych i aramidowych oraz prętów z włókien szklanych i bazaltowych, przyklejonych w strefie rozciąganej, zdecydowanie ogranicza propagację pęknięć belek,

- wady drewna zlokalizowane w dolnej części wzmocnionych belek nie wpływają w istotny sposób na nośność i odkształcalność belek, co umożliwia stosowanie lamel klasy gorszej jakości oraz pochodzących z odrzutu,
- przyjęcie modelu liniowo-sprężystego umożliwia uzyskanie zadowalającej zgodności naprężeń obliczeniowych z wynikami pomiarów eksperymentalnych w belkach wzmocnionych.

Treść rozprawy

Treść rozprawy zawarta jest w dziesięciu zasadniczych rozdziałach, uzupełnionych wykazem cytowanej literatury (154 pozycje + 28 norm) i niezależnym, obszernym Załącznikiem z wynikami badań.

Rozdział 1 (4 strony) zawiera krótki wstęp poświęcony ogólnemu opisowi zagadnień związanych ze wzmacnianiem drewna w elementach konstrukcyjnych.

W rozdziale 2 (95 stron) Autorka w sposób bardzo obszerny opisuje zagadnienia dotyczące budowy drewna, jego wad, metod sortowania i sposobów wzmacniania.

Rozdział 3 (2 strony) zawiera opis celu pracy i jej zakresu, a także cytowane już tezy rozprawy.

W rozdziale 4 (61 stron) Autorka przedstawiła wyniki własnych badań w zakresie charakterystyki tarcicy, mikrostruktury drewna, jego właściwości fizykomechanicznych i wyników badań belek wzmocnionych (o tym 21 stron).

Rozdział 5 (12 stron) zawiera opis obcych modeli szacowania nośności zbrojonych belek drewnianych.

W rozdziale 6 (6 stron) Autorka porównuje wyniki badań laboratoryjnych z przyjętym modelem teoretycznym.

Rozdział 7 (10 stron) zawiera opis i wyniki obliczeń numerycznych.

Rozdziały 8 (2 strony) i 9 (1 strona) to krótkie podsumowanie pracy z wnioskami końcowymi, a rozdział 10 (1 strona) zawiera przewidywane kierunki dalszych badań.

Załącznik do rozprawy zawiera wyniki badań mikrostruktury drewna (70 stron), opisy i wyniki badań próbek (132 strony), wykresy odkształceń i naprężeń w badanych próbkach (116 stron), wykresy ugięć badanych belek (6 stron), obrazy zniszczenia próbek (58 stron) i zrzuty ekranu z obliczeń MES (14 stron).

Merytoryczna ocena rozprawy

Już na początku tej części recenzji stwierdzam, że opiniowaną rozprawę doktorską Pani magister inżynier Agnieszki Wdowiak oceniam pozytywnie (chociaż z licznymi zastrzeżeniami, o czym później). Za pozytywną oceną przemawiają następujące argumenty.

- Temat rozprawy jest dobrany trafnie, ma bowiem zarówno znaczenie poznawcze, jak i bezpośrednie odniesienie do praktyki projektowej i wykonawczej Jest to, w moim pojęciu, szczególnie cenne, świadczy bowiem o umiejętności sformułowania tematu badawczego powiązanego z rzeczywistymi problemami konstrukcyjnymi.
- Autorka wykazał dobrą znajomość poruszanej tematyki, zwłaszcza w zakresie dotyczącym drewna jako materiału konstrukcyjnego.
- Program badań i obliczeń został poprawnie dobrany – jednak z uwagami krytycznymi zawartymi w dalszej części recenzji. Na podkreślenie zasługuje tu wykonanie bardzo obszernych i szczegółowych badań własnych.
- Autorka wykazała się umiejętnością prawidłowego wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników badań i analiz (z uwagami, które później). Jest to cenna umiejętność, bowiem najlepiej nawet opracowane wyniki bez odpowiedniej interpretacji pozostają jedynie zbiorem liczb i wykresów.
- Autorka w sposób uczciwy zaprezentowała także te wyniki i analizy, które nie wykazywały zadowalającej wzajemnej zgodności.

Wśród szczegółowych osiągnięć poznawczych pracy wymienić należy:

- opracowanie szeroko zakrojonych badań cech drewna jako materiału konstrukcyjnego,
- bardzo dokładne opisy próbek i wykazanie zależności pomiędzy wadami próbek drewna, a ich cechami mechanicznymi,
- wykazanie możliwości wiarygodnego modelowania badanych elementów z użyciem stosunkowo prostych modeli materiałowych.

Obowiązkiem recenzenta jest także sformułowanie pytań i uwag krytycznych, w tym o charakterze dyskusyjnym. Poniżej przedstawiłem wybrane uwagi i pytania (w nieco przypadkowej kolejności).

- W pracy nieprawidłowo rozłożono akcenty dotyczące poszczególnych zagadnień. Przykładowo, aż 27 stron poświęcono na opisy budowy drewna (bardzo ciekawe), kolejne 32 strony na opisy wad drewna, a kolejnych 14 na opisy sposobów sortowania. W efekcie dopiero na 88 stronie Autorka przechodzi do sedna pracy. Jednocześnie, na analizę wyników badań wzmocnionych elementów poświęcono 4 strony, na porównanie wyników badań i analizy obliczeniowej – 6 stron, a na analizę wyników badań numerycznych – 1 stronę.
- W rozdziale 2.4.4 brakuje krytycznej analizy opisanych badań. W części tego rozdziału Autorka przedstawia wykresy z badań elementów niewzmocnionych, a pomija wzmocnionych (str. 101-102).

- Czemu służą badania mikrostruktury drewna (rozdział 4.2 oraz 70 stron w Załączniku), jeśli ich wyniki nie zostały praktycznie powiązane z resztą pracy, w tym odniesione do mechanicznych parametrów drewna?
- Dlaczego w bardzo podobnych badaniach (Rozdział 4.3) stosowano różne prędkości przemieszczenia tłoka maszyny wytrzymałościowej? Tłumaczenie tego łącznym czasem badania (str. 126) nie jest przekonujące, bowiem o przyroście uszkodzeń w badanej próbce nie decyduje łączny czas badania, tylko prędkość przyrostu przemieszczenia. Na str. 132 prędkości są w błędnych jednostkach [m/s].
- Nie wolno mówić o wytrzymałości próbek wzmocnionych – takie pojęcie nie istnieje! Wytrzymałość jest cechą materiału (umowną, bowiem zależną od kształtu i wielkości próbki oraz sposobu jej badania), natomiast element o złożonej budowie (próbka drewniana z doklejonym pasmem taśmy lub maty) ma nośność. Zgodnie z jaką formułą „wytrzymałość" takich elementów określono w jednostkach naprężeń?
- Opisy części wzmocnień (kompozytów zbrojonych matami) są niejednoznaczne w zakresie ilościowym.
- Co skłoniło Autorkę do wzmacniania bardzo silnymi laminatami bardzo słabych elementów? Przy przyjętych proporcjach wynik, w postaci bardzo dużego wzrostu nośności, był przesądzony. Zdaniem recenzenta jest on jednak daleki od praktyki, bowiem nikt nie wzmacnia listewek o przekroju 30 × 30 mm, a podobnej intensywności wzmocnienie belki o realnych wymiarach dałoby wyraźnie mniejsze przyrosty nośności i sztywności. Podobny problem dotyczy elementów ściskanych. W efekcie epatowanie ogromnymi wzrostami nośności i sztywności jest pewnym nadużyciem – idąc tym tropem można wzmocnić zapałkę prętem zbrojeniowym i uzyskać skrajnie spektakularny wynik wzrostu nośności. Efekt wielkości elementów widać zresztą w badaniach większych belek (82 × 162 mm), gdzie wyniki nie są już tak obiecujące.
- Czemu służą badania na zginanie klejów epoksydowych (str. 143-144)?. W schemacie badania próbek zginanych klej jest ścinany (wzdłuż skleiny) i częściowo rozciągany (poprzecznie do skleiny), ale na pewno nie jest zginany.
- Stwierdzenie, że beton i żelazo są zagrożone korozją „już przy pH < 5" jest herezją! Zagrożenie korozyjne pojawia się przy znacznie wyższym odczynie – przykładowo, stal w betonie zaczyna korodować przy pH < 11,8.
- Fikcją jest przedstawianie wzrostu wytrzymałości (samo w sobie błędne, o czym już pisano) z dokładnością do 0,01%, skoro wielkości geometryczne były mierzone z dokładnością do 1 mm, to jest około 3% (przy wymiarze przekroju 30 mm).

- Czym Autorka tłumaczy ogromne różnice w liczbie elementów odrzuconych w sortowaniu wizualnym i mechanicznym (str. 122)? Na ile wiarygodne są wyniki jednej i drugiej metody? Jakie uprawnienia miał/powinien mieć brakarz?
- Jest rzeczą oczywistą, że identyczne wzmocnienie słabszego elementu da lepszy efekt procentowy – tego typu wnioski są banalne.
- Elementy badawcze o przekroju 30 × 30 mm pobrane z zabytkowej belki konstrukcyjnej mają właściwości mechaniczne silnie zależne od miejsca pobrania – należało to opisać i skomentować.
- Dlaczego badania na ściskanie są prowadzone na próbkach o różnych wymiarach (20 × 20 × 120 mm i 30 × 30 × 180 mm), co stawia pod znakiem zapytania ich porównywalność?
- Proszę o wyjaśnienie szczegółowej geometrii próbek wzmocnionych prętami i badanych na ściskanie. Chodzi o wzajemne usytuowanie końca pręta i czoła próbki – jeśli były w jednej linii, to nie było to badanie elementu drewnianego wzmocnionego prętem, tylko ściskanego pręta usztywnionego (zabezpieczonego przed wyboczeniem) przy użyciu elementu drewnianego. Różnica wyników pomiędzy dwoma elementami nieznacznie tylko różniącymi się geometrycznie (w zakresie zlicowania lub nie czoła pręta i czoła próbki) będzie tu ogromna!
- Dane katalogowe mat, taśm i klejów są mało przydatne do celów badawczych, bowiem zwykle nie są znane metody uzyskania i obróbki statystycznej konkretnych wielkości. W szczególności dotyczy to klejów.
- W praktyce, poza często znacznie większymi wymiarami elementów drewnianych, pojawia się szereg problemów przy wzmocnieniach. Pierwszy to konieczność wzmacniania elementów w stanie obciążonym, co drastycznie zmienia warunki współpracy z bierną taśmą/matą/prętem, a zatem rzeczywistą skuteczność w stosunku do wzmocnienia elementu nieobciążonego (a takie były badane). Kolejny to warunki aplikacji kleju i taśmy/maty – Autorka nakładała klej i wzmocnienie na górną powierzchnię próbki, co powodowało świetne warunki jego penetracji w głąb drewna i wzmocnienie w miejscach lokalnych wad; w praktyce belka zginana wymaga wzmocnienia od dołu, zatem klej nie ma możliwości przenikania do wadliwych i osłabionych fragmentów drewna, co bardzo obniża skuteczność takiego wzmocnienia.
- Czym Autorka tłumaczy „falowanie" wykresów ugięć (str. 158-159)?
- Autorka omówiła trzy metody szacowania nośności wzmocnionych belek (Rozdział 5), lecz nie pokazała porównania wyników z opisanych modeli z wynikami badań.

Następnie przeanalizowała jeden model, bazujący na sprowadzonej sztywności na zginanie, wyliczonej przy dość śmiałym założeniu pełnej współpracy prętów kompozytowych z przekrojem drewnianym. Efektem takiego założenia było bardzo wyraźne zawyżenie obliczeniowej sztywności zginania części belek, wyliczone jako 19,04%, 30,97% i 24,15% (z komentarzem, że wartość z obliczeń i badań są zbliżone). Powyższe każe przypuszczać, że stopień współpracy zbrojenia z przekrojem drewnianym był w rzeczywistości poniżej 1. Tu trzeba dodać uwagę, że sytuacja w której sztywności obliczone z modelu teoretycznego są znacznie wyższe od zmierzonych w badaniach jest bardzo niekorzystna, bowiem lokuje wyniki obliczeń po stronie niebezpiecznej.

- Uwaga o zmniejszeniu dokładności wyników analizy MES prowadzonej na większych elementach skończonych jest słuszna, natomiast o wydłużeniu czasu obliczeń już nie – ten uległby raczej skróceniu. Analiza numeryczna prowadzona na podstawie danych literaturowych i normowych jest mało wiarygodna w badaniach naukowych, gdzie zwykliśmy bazować na wielkościach pomierzonych (z kalibracja danych na prostych modelach z badań materiałowych).
- Porównanie ugięć z analizy MES i badań w formie tabeli dla jednej wartości siły (str. 192) jest niemożliwe do zinterpretowania – czytelne wyniki daje dopiero porównanie poszczególnych wykresów (parami) w całym zakresie obciążenia, z dodatkowym porównaniem sił niszczących i obrazów zniszczenia.

Komentarz do części powyższych uwag: Autorka wykonała i bardzo szczegółowo sprawozdała ogromną liczbę bardzo ciekawych badań, po czym część wyników porzuciła, a część wykorzystała w ograniczony sposób i przedstawiła bardzo oszczędnie; znacznie mniejsza liczba badań, lecz wykonanych na elementach bliższych rzeczywistości i porównanych w szerszym zakresie pozwoliłaby na wyciągnięcie wniosków o większej wartości poznawczej i praktycznej.

W zakresie edytorskim oraz językowym praca stoi na dobrym poziomie, chociaż rażą pewne niedociągnięcia, a wśród nich:

- tendencja do stosowania bardzo krótkich zdań (a czasem czegoś na kształt zdań, bowiem bez podmiotu lub orzeczenia) powodująca brak jasności pewnych fragmentów pracy,
- liczne powtórzenia fragmentów tekstu,
- określanie stali słowem „żelazo"; w budownictwie nie stosuje się łączników żelaznych lub żelaznego zbrojenia,

- niezrozumiałe sformułowania w rodzaju „Właściwości mechaniczne pręta BFRP korzystnie wpływały na właściwości pręta GFRP w odniesieniu do wzmocnienia i naprawy drewna" (str. 169).
- wielokrotne użycie terminu "posiada" w odniesieniu do przedmiotu,
- drobne literówki, np. "chrakteryzuje" (str. 12), „kmpozyty" (str. 90), włóknstymi (str. 157), inne,
- miejscami nieco dziwny układ przecinków, czasem zmieniający sens zdań,
- nietechniczne określenia, typu „okazała trwałość" (str. 25), „środowisko warsztatowe" (str. 109), inne,
- wtrącenia o charakterze reklamowym: „pręty kompozytowe szklane i bazaltowe firmy Polprek (...) są dwukrotnie trwalsze od stalowych" (str. 153 – to typowy frazes reklamowy o zerowej wartości naukowej i technicznej); podobnie dane o temperaturze pracy (982°C) i topnienia (1450°C) włókien bazaltowych (str. 154) – bezużyteczne wobec temperatury zeszklenia spajającej je matrycy epoksydowej (rzędu 60°C), ale niosące reklamowy przekaz o niezniszczalności materiału; również porównanie danych prętów firmy Polprek z prętami stalowymi, w tym mało wiarygodny zapis o stosowalności FRP do temperatury +150°C, a stali do +100°C (str. 155),
- słaba czytelność wykresów z badań, spowodowana stosowaniem bardzo grubych linii, zlewających się czasem w jedną wielobarwną plamę,
- słaba czytelność większości zrzutów ekranu z analizy MES,
- stosowanie spacji pomiędzy wartością i symbolem % (w wielu miejscach, na dodatek niekonsekwentnie),
- mylenie pojęcia „ilość" i „liczba" (str. 16).

Cytowane wyżej drobne niedociągnięcia nie zaburzają czytelności opracowania, a zwróciłem na nie uwagę, aby ustrzec Autorkę przed powtórzeniem ich w przyszłych publikacjach, które, moim zdaniem, powinny powstać w celu upowszechnienia wyników pracy.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując niniejszą recenzję stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani magister inżynier Agnieszki Wdowiak pt. „Właściwości strukturalno-wytrzymałościowe zginanych belek drewnianych wzmocnionych kompozytami włóknistymi" stanowi cenny wkład w rozwój wiedzy w zakresie trudnego i odpowiedzialnego problemu jakim jest projektowanie wzmocnień konstrukcyjnych elementów z drewna.

Pomimo sformułowanych wcześniej licznych uwag krytycznych uważam recenzowaną pracę za oryginalną i cenną, spełniającą wymagania stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Recenzowana praca udowadnia spełnienie przez Doktorantkę wymagań stawianych na ósmym poziomie uczenia się (wg Europejskich Ram Kwalifikacji) w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji.

Tym samym wnoszę o dopuszczenie Pani magister inżynier Agnieszki Wdowiak do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

.....

dr hab. inż. Jacek Hulimka prof. PŚ