

Recenzja rozprawy doktorskiej
pt. „Modele matematyczne i badania eksperymentalne
zespólonych belek drewniano-betonowych”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję pracy doktorskiej autorstwa mgr inż. Mariusza Czabaka opracowano na podstawie umowy nr 8/WBiA/2019 wynikającej z uchwały Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej z dnia 13.03. 2019 r. oraz zlecenia RB00ST00/95/2019 skierowanego przez Pana Prof. dr hab. inż. Zbigniewa Zembatego w sprawie wyznaczenia recenzentów w przewodzie doktorskim.

2. Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Modele matematyczne i badania eksperymentalne zespólonych belek drewniano-betonowych” przygotowana przez mgr inż. Mariusza Czabaka, pod kierunkiem dr hab. inż. Zbigniewa Perkowskiego, prof. PO w Opolu.

Praca ma charakter teoretyczno-badawczy i składa się z 6 rozdziałów głównych oraz z rozdziału ze spisem literatury obejmującego 149 pozycji piśmiennictwa (20 pozycji autorskich lub współautorskich Doktoranta) oraz z 17 dodatkowych pozycji (norm i dokumentów związanych). Tekst rozprawy liczy łącznie 178 stron, w tym 121 rysunków i 14 tabel. W ramach realizacji głównych celów pracy wykonano obszerne modelowanie teoretyczne oraz badania laboratoryjne.

Oceniana praca doktorska stawia sobie obszerne cele wyartykułowane w pięciu obszarach, które obejmują:

- sformułowanie układu równań całkowo-różniczkowych opisujących przemieszczenia dwuwarstwowych belek zespólonych,
- przeprowadzenie badań w skali naturalnej drewniano-betonowej belki zespólonej,
- przeprowadzenie jakościowej analizy uszkodzeń układu,
- przeprowadzenie badań pełzania w zakresie liniowym,
- przeprowadzenie analizy teoretycznej wpływu cech reologicznych drewna i betonu oraz związanej z tym redystrybucji sił wewnętrznych.

Praca ma charakter teoretyczno-eksperymentalny, w której z przeprowadzonych badań w skali naturalnej i wyprowadzonych równań analitycznych wyznaczono parametry materiałowe. Problematyka dotycząca wzmacniania stropów drewnianych metodą zespolenia istniejących belek drewnianych z płytą wykonaną na mokro ma duże znaczenie użytkowe.

W pracy wyróżniono pięć rozdziałów i podsumowanie. W pierwszym rozdziale przedstawiono tematykę, uzasadniono i sformułowano cele naukowe. Następnie przedstawiono opis materiałów i modeli odkształcalności. W interesujący sposób przedstawiono cechy fizyczne i zjawiska zachodzące w wykorzystywanych materiałach: drewnie i w betonie, jak również w złączu międzywarstwowym. W rozdziale 3. rozszerzono informacje na temat metod i modelowania spotykanego w literaturze. Przedstawiono również autorski opis zagadnienia w postaci wyprowadzeń i finalnych wersji układów równań całkowo-różniczkowych względem przemieszczeń występujących w ustrojach belkowych z uwzględnieniem cech sprężystych i reologicznych zgodnie z modelem standardowym liniowej lepkości oraz niemechaniczne oddziaływanie cieplno-wilgotnościowe.

Badania eksperymentalne przedstawiono w rozdziale 4. Na wstępie opisano wpływ cyklicznego przyrostu obciążeń prowadzonego na belce zespolonej długości 3,5 m, pozwalającej na przeprowadzenie wstępnych analiz wpływu przyrostu obciążenia na obniżenie sztywności elementów składowych i określenie nośności doraźnej. W drugiej części rozdziału 4. przedstawiono dwuletnie badania długotrwałe czterech belek zespolonych długości 4 m. Uzyskano parametry reologiczne, jak współczynniki pełzania warstw i złącza z uwzględnieniem wpływu dystorsji skurczowych spowodowanych zmianami wilgotności względnej powietrza otaczającego.

W rozdziale 5. sformułowano procedury obliczeniowe w postaci zadań odwrotnych ukierunkowanych na wyznaczenie najistotniejszych parametrów warstw belki zespolonej i złącza międzywarstwowego. Oszacowano tym samym redystrybucję naprężeń i sił wewnętrznych w warstwach oraz obciążeń w styku wywołane pełzaniem ustroju. Wykorzystano przy tym analizę wrażliwości wpływu zmiany parametrów materiałowych na przemieszczenia ustroju jak również obliczono parametry materiałowe ustroju belkowego: sztywność złącza na ścinanie i działanie obciążeń normalnych do styku, moduł Younga poszczególnych warstw, współczynniki rozszerzalności wilgotnościowej oraz współczynniki pełzania warstw i złącza.

W podsumowaniu zaprezentowano najważniejsze osiągnięcia uzyskane w ramach dysertacji a także przedstawiono plany dalszej pracy badawczej autora.

Zdefiniowany zakres jest interesujący zarówno w aspekcie praktycznym, jak i naukowym. Tematyka dotycząca wyznaczania parametrów wytrzymałościowych ustrojów zespolonych jest bardzo aktualna, gdyż są to rozwiązania oczekiwane przez rynek budowlany, w którym modernizacja budynków zabytkowych staje się faktem a renowacja drewnianych stropów nadal nie doczekała się jednoznacznych procedur postępowania. Szczególnie w przypadkach konieczności zwiększenia nośności istniejących stropów.

Dla poparcia stawianych w pracy zadań ogółem zacytowano i skomentowano wyniki badań zaprezentowanych w 149 źródłach obcych autorów, 17 normach i co należy szczególnie podkreślić w 20 pracach, w których doktorant jest współautorem lub autorem. Ilość przytoczonej literatury jest satysfakcjonująca i potwierdza, że temat jest ważki, a nad jego rozwiązaniem pracują liczne ośrodki naukowe. Sposób ustosunkowania się do zaprezentowanego piśmiennictwa jest wzorcowy.

3. Ocena naukowej wartości rozprawy

Za najważniejsze i oryginalne osiągnięcia naukowe Autora należy uznać:

1. Krytyczne przeanalizowanie dostępnych pozycji literatury naukowo-badawczej krajowej i zagranicznej. Z przeprowadzonego studium literaturowego wyniknęła potrzeba sformułowania własnego problemu badawczego oraz głównego celu i zakresu rozprawy.
2. Opracowanie i przeprowadzenie oryginalnego programu pomiarów laboratoryjnych.
3. Sformułowanie układu równań różniczkowo-całkowych pozwalającego opisać poprawnie przemieszczenia belek drewniano-betonowych powstałe pod wpływem zarówno obciążeń mechanicznych jak i działań termiczno-wilgotnościowych przy uwzględnieniu cech reologicznych warstw belki i złącza międzywarstwowego.
4. Przeprowadzenie badań eksperymentalnych na łącznie 5 belkach zespolonych, w których (m.in. w warunkach pełzania) pomierzono ich ugięcia, poślizgi międzywarstwowe i krzywizny osi warstw niezbędne do sprawdzenia poprawności założeń modelu.
5. Opracowanie współczynnиковego zadania odwrotnego pozwalającego na nieinwazyjne oszacowanie modułów sprężystości warstw belki zespolonej i sztywności złącza na działanie obciążeń ścinających i rozrywających styk.

3. Uwagi merytoryczne

Poniżej wskazano na interesujące strony rozprawy, które wymagają dodatkowego ustosunkowanie się Doktoranta z uwagi na pewien niedosyt w aspekcie możliwości praktycznego wykorzystania uzyskanych wyników badań i analiz. Nie są to uwagi krytyczne a jedynie chęć podkreślenia wszechstronnych umiejętności i poznania opinii Doktoranta jako przyszłego eksperta.

1. Wszystkie, bez wyjątku stropy drewniane, z którymi recenzent spotkał się w swojej praktyce charakteryzowały się znacznym ugięciem trwałym. Jaka, zdaniem doktoranta jest dopuszczalna wartość ugięcia belek stropowych, którą można zaakceptować bez istotnego wpływu na jakość projektowanego wzmocnienia wg przyjętego w rozprawie algorytmu? Czy zdaniem Doktoranta procedury obliczeniowe zaprezentowane w pracy wymagają ścisłego zdefiniowania obwarowań w zakresie wstępnego ugięcia trwałego belek oraz jaką przyjąć drogę postępowania w przypadku, gdy trwałe ugięcia przekracza np. 1/100 rozpiętości i to właśnie nadmierne ugięcie jest powodem podejmowania działań naprawczych z wykorzystaniem zespolonej płyty betonowej?
2. Wzmocnienia stropów drewnianych są realizowane głównie w obiektach zabytkowych, w których niejednokrotnie występuje zaawansowana korozja biologiczna. Zatem za ważny należy uznać również rozdział dysertacji opisujący parametry drewna wbudowanego w konstrukcję wymagającą wzmocnienia lub przywrócenia cech pierwotnych. Niedosyt budzi więc dość oszczędne potraktowanie zagadnienia dotyczącego badania belek drewnianych w istniejących budynkach na potrzeby oceny stanu technicznego w aspekcie

wyboru technologii wzmocnienia. Zdaniem autora recenzji jest to najtrudniejszy i często kluczowy moment podejmowania decyzji o renowacji stropu lub jego wymianie w części lub w całości. Szczególnie trudne w ocenie są newralgiczne miejsca oparcia na murach, miejsca zawilgocone, a także pęknięcia wzdłużne, uzależnione od mikroklimatu pomieszczeń, gatunku, rodzaju i sprężystości drewna. Ponadto struktura samego drewna, kierunek przetarcia czy warunki i czas schnięcia materiału również wpływają na ocenę jakości. Decyzję o ewentualnym wzmocnianiu podejmuje się głównie w zależności od stopnia zniszczenia przekroju poprzecznego belek. W praktyce przyjmuje się zasadę, że o dopuszczeniu do dalszego użycia decyduje przekrój po ociosaniu z murszu i próchnic. Jeśli nowe wymiary są zredukowane w porównaniu do pierwotnych nie więcej niż o 10% to można je dalej użytkować, jednak zaobserwowaną zmianę przekroju trzeba uwzględnić w obliczeniach. Problem polega na tym, że w praktyce, po wykonaniu odkrywek stwierdza się, że przekroczenie 10% ubytków jest wszechobecne. Nie są to jednak zagadnienia jednoznacznie rozpoznane i niestety w wielu przypadkach zalecenia mają charakter intuicyjny. Proszę Doktoranta o odniesienie się do poruszonych zagadnień w aspekcie wpływu na szacowanie nośności całego ustroju po wykonaniu betonowo-drewnianego.

4.2. Uwagi dotyczące redakcji rozprawy

Rozprawa jest napisana poprawnie z prawidłowym układem tekstu, na bardzo dobrym poziomie merytorycznym i edytorskim. W tekście rozprawy recenzent doszukał się w zasadzie jednego potknięcia dotyczącego nieprawidłowego stosowania funkcji kursywy w odniesieniu do mian i funkcji trygonometrycznych. Międzynarodowe normy edytorskie: IEC, lub ISO dokładnie precyzują zasady pisowni antykwą lub kursywą i należy je bezwzględnie przestrzegać.

5. Ocena osiągnięć zawartych w rozprawie

Doktorant zaproponował własny model belki drewniano-betonowej, w którym uwzględnił zjawiska poślizgu i reologicznych cech materiałów, ponadto uwzględnił skończoną sztywność styku warstw belki w kierunku normalnym do jego powierzchni. Nowością jest również uwzględnienie oddziaływań ciepłno-wilgotnościowych. Formułowanie tego typu zagadnień początkowo brzegowych i skuteczne ich rozwiązywanie wymaga dobrego przygotowania matematycznego, co zasługuje na szczególne podkreślenie. Rozważania teoretyczne prowadzone na bazie szerokiego rozpoznani literaturowego potwierdzono długotrwałymi badaniami.

Pozytywnie oceniam przyjętą w pracy metodologię, jej wartość jako opracowania naukowego oraz wnioski. Problematykę zaprezentowano w sposób zrozumiały, z wyważonym przytoczeniem podstaw teoretycznych. Opracowanie wyników z wykorzystaniem nowoczesnych metod analitycznych wymagało dużej wiedzy i przygotowania doktoranta do prowadzenia tego typu analiz. Układ pracy jest logiczny a uwaga o nieprawidłowym wykorzystaniu kursywy, nie wpływa na ogólnie bardzo pozytywną ocenę językową.

6. Wniosek końcowy

Podsumowując, niezwykle wartościowe wyniki zawarte w pracy doktorskiej oraz rozmiar poniesionego wysiłku w organizacji stanowisk badawczych, należy uznać że z naukowego i praktycznego punktu widzenia stanowią one ważny wkład w rozwiązanie istotnego problemu

teoretycznego i utylitarnego. Uzyskane wyniki wskazują, że skutecznie uściślono dotychczas stosowane sposoby oceny nośności belkowych ustrojów drewniano-betonowych. Wykonanie badań wymagało od kandydata zdobycia szerokiej wiedzy z zakresu nowoczesnych metod pomiarowych. Przygotowanie rozprawy wskazuje na posiadanie wiedzy i umiejętności do samodzielnego prowadzenia przez doktorantkę badań naukowych. Recenzowana praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym, a jej wyniki mają istotne znaczenie praktyczne*. Dlatego wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej pt. **„Modele matematyczne i badania eksperymentalne zespolonych belek drewniano-betonowych”** oraz dopuszczenie mgr inż. Mariusz Czabaka do publicznej obrony.

Ponadto wnioskuje o wyróżnienie pracy. Za takim wnioskiem przemawia udokumentowany dorobek publikacyjny autora a w szczególności oryginalne osiągnięcia naukowe przedstawione w punkcie 3, a więc:

1. Sformułowanie układu równań różniczkowo-całkowych pozwalającego opisać poprawnie przemieszczenia belek drewniano-betonowych powstałe pod wpływem zarówno obciążeń mechanicznych jak i działań termiczno-wilgotnościowych przy uwzględnieniu cech reologicznych warstw belki i złącza międzywarstwowego.
2. Przeprowadzenie badań eksperymentalnych na belkach zespolonych, w których (m.in. w warunkach pełzania) pomierzono ich ugięcia, poślizgi międzywarstwowe i krzywizny osi warstw niezbędne do sprawdzenia poprawności założeń modelu.
5. Opracowanie współczynnika zadania odwrotnego pozwalającego na nieinwazyjne oszacowanie modułów sprężystości warstw belki zespolonej i sztywności złącza na działanie obciążeń ścinających i rozrywających styk.



dr hab. inż. Robert Wójcik, prof. UWM