

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Andrzeja Turkowskiego

„ODPORNOŚĆ OGNIOWA BELEK ŻELBETOWYCH WZMOCNIONYCH NA ZGINANIE DOKLEJANYMI TAŚMAMI Z WŁÓKIEN WĘGLOWYCH”

1 Podstawa formalna wykonania recenzji

Podstawą opracowanie recenzji jest uchwała Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej (zgodnie z pismem Przewodniczącego Rady Naukowej ITB prof. dr hab. inż. Andrzeja Garbacza z dnia 19.05.2021 r.).

2 Przedmiot i cel recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Andrzeja Turkowskiego pt. „Odporność ogniowa belek żelbetowych wzmocnionych na zginanie doklejanymi taśmami z włókien węglowych”. Ocena rozprawy jest prowadzona z uwagi na wypełnienie przesłanek zapisanych w Ustawie, tj. prezentacji ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w dyscyplinie, umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz stwierdzenie, czy przedstawiona praca zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

3 Ogólna charakterystyka pracy

Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz (ITB), promotorem pomocniczym dr inż. Paweł Sulik (ITB). Główna część rozprawy została zawarta na 138 stronach i podzielona na 7 rozdziałów, zawierających wprowadzenie oraz podsumowanie wraz z wnioskami. Zasadnicza część pracy poprzedzona jest streszczeniem w języku polskim i angielskim, spisem treści i wykazem oznaczeń i skrótów, zaś zakończona spisem cytowanej literatury.

Tematyka pracy obejmuje metodę oceny odporności ogniowej belek żelbetowych po ich wzmocnieniu na zginanie za pomocą doklejanych taśm z włókien węglowych. Przedstawiana problematyka dotyczy jednocześnie budynków nowopowstałych jak i remontowanych, a Doktorant podkreśla zalety przedmiotowej metody do ograniczania skutków błędów wykonawczych.

W Rozdziale 1 Autor przedstawia wprowadzenie do pracy, rozpoczynając od przedstawienia genezy podjętego tematu. W genezie tej przedstawiono problematykę błędów wykonawczych i konieczności prowadzenia napraw konstrukcji budowlanych, wraz ze zwięzłym opisem „typowego” zastosowania kompozytowych taśm CFRP. Doktorant nie przedstawia hipotezy badawczej, jednak w sposób dość precyzyjny formułuje problem naukowy, którym jest:

„Problemem naukowym, jaki podjęto w niniejszej pracy doktorskiej, jest po pierwsze analiza odporności ogniowej cechującej belki żelbetowe wzmocnione na zginanie za pomocą zewnętrznie doklejanego zbrojenia w postaci taśm z włókien węglowych, po drugie zaś ewaluacja możliwości zabezpieczania ogniochronnego tychże belek.”

W tym samym rozdziale Doktorant przedstawia argumenty stojące za oryginalnością przedstawionego rozwiązania oraz omawia kolejne kroki prowadzonych badań. W ostatnim podrozdziale przedstawiono strukturę samej pracy.

W Rozdziale 2 przedstawiono bardzo obszerny (42 strony, 101 pozycji literaturowych) przegląd literatury, na który składa się:

- przegląd właściwości materiałowych i technologii zewnętrznego zbrojenia doklejanego;
- przegląd właściwości materiałów w podwyższonej temperaturze (betony, stале zbrojeniowe, kompozyty polimerowe, systemy ogniochronne);
- omówienie metod badań odporności ogniowej.

Konkluzją analizy literatury jest podkreślenie znaczenia przyczepności izolacji i jej właściwości termicznych (przewodności cieplnej, ciepła właściwego, gęstości) jako czynników istotnie wpływających na skuteczność ograniczania przepływu ciepła w elemencie. Przedstawiony przegląd wydaje się być kompletny z uwagi na cel pracy. Doktorant w sposób biegły posługuje się literaturą tematu, w tym literaturą najnowszą. Z pośród 128 cytowanych pozycji, aż 38 opublikowano w ostatnich 5 latach.

Rozdziały 3 i 4 można omawiać łącznie, gdyż stanowią one część eksperymentalną pracy. W rozdziale 3 Doktorant wyczerpująco przedstawia założenia do badań odporności ogniowej, szczegóły techniczne urządzeń badawczych (pieca do badań ogniowych) oraz szczegóły konstrukcyjne elementów próbnych. Przedstawiona została także autorska metoda pomocnicza, wykorzystana w celu rozszerzenia zakresu otrzymanych wyników badań. W rozdziale 4 przedstawiono wyniki badań, przede wszystkim w formie wykresów temperatura-czas i ugięć, oraz pomiaru czasu do zniszczenia elementów (czasu odporności ogniowej). Każde badanie zostało opisane indywidualnie, czemu towarzyszy zapis obserwacji w czasie badania oraz materiał fotograficzny. Rozdział 4 kończy podsumowanie przeprowadzonych badań i porównanie wyników (belki B-1 z B-10, belek B-2, B-3 i B-9 oraz belek od B-4 do B-8). Rozdział 4 kończy się przedstawieniem algorytmu postępowania ustalania elementów wymagających zabezpieczenia ogniochronnego.

Rozdział 5 stanowi opis analiz numerycznych, stanowiących uzupełnienie przeprowadzonych badań eksperymentalnych w pełnej skali. Doktorant opisuje założenia do obliczeń numerycznych i

wprowadzone uproszczenia (np. w siatce obliczeniowej). W skrócie opisano także program do obliczeń MSC Marc. Wyniki symulacji zestawiono z wynikami pomiarów w badaniach w pełnej skali. W większości prowadzonych symulacji uzyskano zgodność na poziomie do 25%. Największa różnica w czasie awarii wyznaczonym eksperymentalnie wynosiła 47.7%, najmniejsza 0.2%. Doktorant przypisuje tę niedokładność zbyt niemu uproszczeniu właściwości termicznych materiałów, co jest niewystarczające do opisu zachowania całego systemu ogniochronnego.

Rozdział 6 można potraktować jako praktyczny wynik prowadzonych badań i symulacji. Przedstawiono w nim metodę szacowania grubości izolacji ogniochronnych. Rozwinięto zakres analiz o większe grubości izolacji i inne materiały. Poprzez ekstrapolację wyznaczono grubość izolacji, która jest potrzebna do zapewnienia nośności ogniowej belek żelbetonowych wzmocnionych na zginanie doklejanymi taśmami z włókien węglowych, z uwagi na temperaturę zeszklenia kleju. Przedstawiono także sprawdzenie metody obliczeniowej na podstawie obliczeń równoważnej grubości betonu z literatury, oraz wyznaczonych za pomocą nowej metody.

Ostatni rozdział podsumowuje zawartość pracy i przedstawia praktyczne wnioski. Podano także zalecenia projektowe i wskazano istotne kierunki dalszych badań.

4 Uwagi do pracy

Praca została sporządzona w sposób rzetelny i czytelny. Jak w większości opracowań tego rodzaju, Autor nie ustrzegł się drobnych błędów edycyjnych, interpunkcyjnych czy niezbyt precyzyjnych sformułowań. Te drobne uwagi nie wpływają na ocenę czy odbiór pracy i zostały wskazane Doktorantowi w trakcie rozmowy. Praca, po wprowadzeniu modyfikacji i zmniejszeniu objętości części eksperymentalnej a rozbudowie części praktycznej, nadaj się do publikacji jako praktyczny poradnik doboru izolacji zapewniających pożądaną odporność ogniową belek żelbetonowych z doklejanym wzmocnieniem z taśm węglowych.

W trakcie lektury pracy nasunęły mi się także uwagi o charakterze polemicznym, oraz zagadnienia, które chciałbym aby Doktorant rozwinął:

- 1) Proszę o rozwinięcie zagadnienia dotyczącego właściwości materiałowych mających wpływ na wyniki obliczeń numerycznych przepływu ciepła. Uzyskanie zgodności bliskiej idealnej (0.2%) oraz wręcz nieakceptowalnej (47.7%) z wykorzystaniem tego samego modelu numerycznego dla elementów o bardzo zbliżonej konstrukcji jest co najmniej zaskakujące.
- 2) W badaniach numerycznych Doktorant przedstawia wyłącznie wyniki związane z przepływem ciepła w badanym elemencie. Czy uwzględnienie w modelu ugięcia belki mogło by przybliżyć wynik modelowania do pomiaru w eksperymencie? Czy w badaniach numerycznych uwzględniano awarię zabezpieczenia ogniochronnego (widoczną np. na zdjęciach belki B-5 po badaniu)?

- 3) Proszę o przedstawienie sposobu zamocowania taśm węglowych do powierzchni belek. W opisie eksperymentu nie dopatrzyłem się dokładnego opisu tego mocowania, podczas gdy w przeprowadzonej analizie literatury problem kotwienia taśm był szeroko poruszany.
- 4) Uzupełniająco do powyższego pytania, proszę o informację czy analizowano kotwienia mechaniczne taśm, a jeżeli nie, to w ocenie Doktoranta jaki wpływ miało by jego zastosowanie.
- 5) Wobec uzyskanych wartości grubości zabezpieczenia ogniochronnego oraz stwierdzenia w części wprowadzającej pracę (str. 16) „*Brakuje też wiedzy na temat skuteczności systemów ogniochronnych o bardzo dużej grubości materiału oraz niekorzystnych skutków z tą grubością związanych – odpadania, rozwarstwiania materiału, czy pękania.*” Proszę o komentarz w tej kwestii. Czy uzyskane w badaniach grubości materiałów izolacyjnych zbliżyły się do tej „*bardzo dużej grubości*”, a jeżeli nie, to ile mogła by wynosić taka graniczna grubość.
- 6) W rozdziale 6.4 Doktorant przedstawia wyniki „*analiz numerycznych przepływu ciepła w 120 belkach żelbetowych*”. Wspomnianych analiz numerycznych nie przedstawiono w rozdziale 5. Można się domyślić, że prowadzone analizy przeprowadzono za pomocą tego samego narzędzia numerycznego i dla tych samych założeń, co analizy walidacyjne opisane w szczegółach w rozdziale 5. Proszę o komentarz dotyczący analiz numerycznych w rozdziale 6 – jaki był ich cel, jak zostały przeprowadzone. W jaki dokładnie sposób uzyskano równoważną grubość betonu będącą wynikiem tych analiz.

5 Ocena pracy

Przedstawiona praca stanowi bez wątpliwości rozwiązanie problemu naukowego – odporności ogniowej belek żelbetowych wzmocnionych na zginanie doklejonymi taśmami węglowymi. Poza niezbędnymi dla zrozumienia zagadnienia badaniami eksperymentalnymi w pełnej skali, Doktorant wykazuje dodatkową inicjatywę – tj. przeprowadzenie badań z wykorzystaniem większej liczby mniejszych, nieobciążonych elementów, w celu poznania właściwości termicznych zabezpieczeń ogniochronnych, jak również prowadzi analizy numeryczne z uwzględnieniem nieliniowych właściwości materiałów budowlanych. Na podstawie dogłębnej analizy wyników prowadzonych badań formułowane są nie tylko trafne wnioski, ale także zaproponowano praktyczną metodę szacowania grubości izolacji ogniochronnej. Oznacza to, że w przedstawionej rozprawie rozwiązano nie tylko problem naukowy, ale również praktyczny dotyczący projektowania zabezpieczeń ogniochronnych doklejanego zbrojenia z taśm węglowych. Doktorant w sposób swobodny posługuje się literaturą naukową tematu, krajową i zagraniczną, jak również normami i uznanymi metodami projektowymi.

Za główne osiągnięcia naukowe pracy należy uznać:

- Wyznaczenie czasu odporności ogniowej belek żelbetowych wzmocnionych na zginanie doklejanymi taśmami węglowymi, w odniesieniu do różnych grubości zastosowanych materiałów ogniochronnych;
- Opis przebiegu awarii belki żelbetowej, powiązany z awarią wzmocnienia doklejanego belki;
- Opracowanie modelu numerycznego pozwalającego na analizę czasu awarii doklejanego wzmocnienia oraz wyczerpującym wskazaniem zalet i niedostatków modelu.

Doktorant rozwiązał także problem optymalizacyjny, tj. dobór właściwej grubości zabezpieczenia ogniochronnego doklejanego wzmocnienia z taśm węglowych. Rozwiązanie to przedstawił w postaci metody obliczeniowej. Metoda ta odnosi się tylko do płytowych systemów ogniochronnych o wykazanym czasie zachowania przyczepności w warunkach pożaru, nie uwzględniając reaktywnych systemów ogniochronnych (np. farby pęczniące) czy tynków ogniochronnych. Nie są w niej uwzględnione.

Warto także podkreślić, że na podstawie wyników badań Doktoranta przeprowadzono cztery programy badawcze, na podstawie których wydano pierwsze kompleksowe oceny w zakresie odporności ogniowej ścian, stropów, słupów i belek żelbetowych wzmocnianych CFRP. Wskazuje to na aktualność podjętego w pracy tematu badawczego.

6 Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Andrzeja Turkowskiego pt. „Odporność ogniowa belek żelbetowych wzmocnionych na zginanie doklejanymi taśmami z włókien węglowych” jest obszernym, kompletnym opracowaniem zawierającym eksperymentalne, numeryczne i analityczne rozwiązanie postawionego problemu naukowego. Autor podjął się ambitnego zadania określenia przebiegu awarii belek żelbetowych z doklejanym wzmocnieniem z taśm węglowych w sytuacji pożarowej, co w mojej ocenie zostało osiągnięte. Doktorant przedstawił metodę praktyczną doboru zabezpieczenia ogniochronnego doklejanego wzmocnienia, co stanowi jednocześnie rozwiązanie problemu praktycznego powiązanego z problemem naukowym pracy.

W kontekście art. 187 Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata z zakresu budownictwa i bezpieczeństwa pożarowego, w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wskazuje na wysoki poziom wiedzy teoretycznej oraz umiejętności prowadzenia badań i wykorzystania wiedzy literaturowej. W związku z powyższym, uważam że przedstawiona rozprawa spełnia wymagania Ustawy, oceniam ją pozytywnie i wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do jej publicznej obrony.

