

Dr hab. inż. Tomasz Krykowski, prof. PŚ
Politechnika Śląska
Katedra Mechaniki i Mostów
ul. Akademicka 5
44-100 Gliwice
Email: tomasz.krykowski@polsl.pl

Gliwice, 5.09.2025

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. El Mehdi ABLAOUI

pt. „STRUCTURAL BEHAVIOR OF SANDWICH PANELS UNDER FIRE CONDITIONS”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

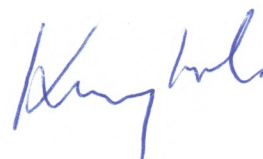
Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo nr RD/d/47/02/2025, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej, prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy z dnia 18.06.2025 r., nawiązujące do Uchwały Rady Dyscypliny z dnia 17.06.2025 r., przesłane wraz z egzemplarzem rozprawy doktorskiej i umową o dzieło nr 0410/2025/54.

Podstawą prawną wykonania recenzji jest Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571) wraz z późniejszymi zmianami.

2. Przedmiotem recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. El Mehdi Ablaoui pt. „Structural behavior of sandwich panels under fire conditions”. Praca została napisana pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Zbigniewa Pozorskiego, prof. PP. Promotorem pomocniczym jest Pan dr inż. Michał Melendowski.

Przedmiotowa praca jest opracowaniem napisanym w języku angielskim liczącym 177 stron, na które składa się 11 stron zawierających stronę tytułową, streszczenie, spis treści i spis użytecznych oznaczeń, 128 stron części zasadniczej pracy, 9 stron zawierających spis literatury i norm, 6 stron zawierających spis rysunków a także 17 stron zawierających dodatkowe szczegółowe informacje odnośnie badań wykonanych w rozprawie.



Tematem recenzowanej dysertacji jest analiza zachowania się paneli warstwowych w warunkach pożaru. Płyty warstwowe są szeroko stosowane przy budowie ścian, dachów, obudów urządzeń przemysłowych i nie tylko. Ich zakres zastosowania jest szeroki ze względu na doskonały stosunek wytrzymałości do masy jak również ich właściwości izolacyjne. Jak słusznie zauważył Doktorant pomimo zalet, zachowanie płyt warstwowych w warunkach pożaru pozostaje aktualnym tematem badań, zwłaszcza biorąc pod uwagę poważne konsekwencje awarii konstrukcyjnych podczas takich sytuacji. Zrozumienie reakcji materiałów rdzeniowych, takich jak wełna mineralna, na podwyższone temperatury, ma kluczowe znaczenie dla rozwoju norm bezpieczeństwa pożarowego i zwiększenia niezawodności tych materiałów w praktycznych zastosowaniach. Samo zagadnienie oceny zachowania się płyt warstwowych w warunkach pożaru stanowi przedmiot licznych badań, aczkolwiek opublikowane do tej pory prace nie opisują w wystarczającym stopniu problemów odpowiedzi termicznej materiałów rdzeniowych w płytach warstwowych co wymaga badań eksperymentalnych w celu zmierzenia ich właściwości i wpływu na ogólną odporność na pożar. Brak jest ponadto kompleksowych badań zachowania się płyt warstwowych w dużych scenariuszach pożarowych oraz analiz zmierzających do kompleksowej oceny zachowania termomechanicznego co wiąże się między innymi z wpływem rozwarstwienia rdzenia i materiału okładzinowego na zachowanie płyty. Doktorant w swojej pracy podejmuje się kompleksowej oceny pracy płyt warstwowych w warunkach wysokich temperatur (pożaru) stosując zróżnicowane metody naukowe bazujące zarówno na własnych badaniach eksperymentalnych jak i budowie skomplikowanych modeli komputerowych.

Podsumowując, podjęta tematyka ma duże znaczenie praktyczne i jednocześnie stanowi bardzo interesujący problemem naukowy który ma charakter eksperymentalno-obliczeniowy. Przyjęty wybór tematu zasługuje na wysoką ocenę a jego rozwiązanie stanowi poszerzenie aktualnego stanu wiedzy.

Analizując luki w wiedzy odnoszącej się do tematyki odporności pożarowej płyt warstwowych Doktorant sformułował hipotezy badawcze „bazując na testach materiałów, geometrii elementu i rozwiązaniach technologicznych jest możliwe przewidzenie odporności płyt warstwowych na pożar” oraz „możliwe jest znalezienie grupy parametrów, które w szczególny sposób wpływają na odporność pożarową płyt warstwowych”.

Ponadto Doktorant sformułował cel badań jakim jest obliczeniowa (z zastosowaniem MES) predykcja zachowania się płyt warstwowych poddanych działaniu temperatury pożaru wraz z określeniem wpływu materiałów i warunków brzegowych na to zachowanie.

3. Treść rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska składa się sześciu rozdziałów oraz trzech dodatków, których treść stanowi uzupełnienie wspomnianych rozdziałów. Przyjęta koncepcja pracy jest poprawna. Umieszczenie części materiału badawczego w tzw. dodatkach (co wpłynęło na czytelność pracy) również oceniam pozytywnie. Każdy rozdział kończy krótkie podsumowanie przedstawionych w nim rozważań i wyników badań.

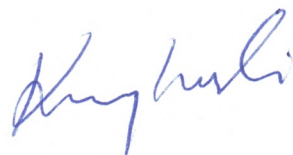
Rozdział 1 liczy 7 stron i zawiera informacje wprowadzające do tematyki płyt warstwowych i obszarów ich zastosowań w tym: zachowania przeciwpożarowego i aspektów projektowych. W rozdziale zdefiniowane zostały również obszary, w których można znaleźć luki w odniesieniu do tematyki badań naukowych podejmowanych w pracy jak również hipotezy badawcze i cele pracy.

W rozdziale 2 liczącym 30 stron przedstawiono ogólny przegląd stanu wiedzy z zakresu oddziaływania wysokich temperatur (pożarów) na płyty warstwowe. Ponadto omówiono zachowanie materiałów w podwyższonych temperaturach w tym w szczególności właściwości termiczne i dyfuzyjność materiałów rdzeniowych, takich jak wełna mineralna. W rozdziale zostało omówione również podejścia do modelowania termomechanicznego stosowane w odniesieniu do oceny zachowania się elementów narażonych na ogień.

W rozdziale 3 liczącym 13 stron skupiono się na właściwościach termicznych analizowanego w rozprawie materiału rdzenia płyt warstwowych jakim jest wełna mineralna. Opisane zostało stanowisko do badań doświadczalnych służące do określania dyfuzyjności cieplnej jak również wyniki badań eksperymentalnych i symulacji komputerowych.

W rozdziale 4 liczącym 25 stron opisano stanowisko badawcze utworzone w Instytucie Techniki Budowlanej, na którym prowadzone były badania wpływu oddziaływań pożarowych. Celem badań przedstawionych w tym rozdziale była ocena odpowiedzi termicznej ścian wykonanych z płyt warstwowych z rdzeniem z wełny mineralnej. W rozdziale szczegółowo omówiono stanowisko badawcze, metody badań laboratoryjnych, wyniki odpowiedzi termicznej analizowanych elementów w formie historii zmian temperatury na nieogrzewanej powierzchni, a także przeprowadzono obliczenia komputerowe w systemie Abaqus w celu symulacji niestacjonarnego przepływu ciepła w badanych elementach narażonym na oddziaływanie pożaru. Rozdział zawiera szczegółowe omówienie wyników badań eksperymentalnych analizowanych elementów.

W rozdziale 5 liczącym 50 stron najistotniejszym z mojego punktu widzenia przeanalizowano zachowanie termomechaniczne płyt warstwowych z rdzeniem z wełny mineralnej poddanych oddziaływaniom pożaru. Na potrzeby symulacji komputerowych



wykonano sprzężony model termomechaniczny, który był analizowany z zastosowaniem MES. W przeprowadzonych w systemie Abaqus badaniach symulacyjnych skupiono się na dwóch typach modeli tzw. modelu 1, który został wykonany jako warstwowy model powłokowy oraz modelu 2 wykonanym z elementów powłokowych, elementów typu solid oraz elementów kohezyjnych. Celem zaimplementowania elementów kohezyjnych było ujęcie separacji warstwy kleju na styku wełna mineralna stal w wysokich temperaturach. W rozdziale w sposób szczegółowy przedstawiono porównanie badań eksperymentalnych w zakresie przemieszczeń punktów na nieogrzewanej powierzchni płyty z wynikami symulacji komputerowych. Rozdział kończy się wnioskami i stanowi podstawę do ew. rozwijania zaproponowanego modelu w przyszłości w celu udoskonalenia predykcji wyników badań pożarowych.

Rozdział 6 liczący 4 strony podsumowuje wnioski płynące z przeprowadzonych w pracy badań i analiz.

Uzupełnieniem opisanych w recenzji rozdziałów są trzy dodatkowe podrozdziały, które zostały w pracy określone jako dodatek A, dodatek B i dodatek C liczące w sumie 17 stron. Te tzw. dodatki odnoszą się kolejno do uszczegółowienia zagadnienia redukcji modelu 3D do modelu 1D w odniesieniu do oceny transportu ciepła w płycie warstwowej (dodatek A); zestawienia wyników badań odpowiedzi termicznej płyty warstwowej (dodatek B); prezentacji stanowiska wraz z czujnikami do wielkoskalowych badań pożarowych, w trakcie i po wykonaniu eksperymentów (dodatek C).

4. Ocena pracy

4.1. Ocena ogólna

Recenzowana rozprawa doktorska to kompleksowe opracowanie badawczo-obliczeniowe opisujące zachowanie płyt warstwowych z rdzeniem z wełny mineralnej poddanych zjawisku pożaru, poprzedzone studiami literatury tematycznej. Z uwagi na swoją specyfikę i zakres recenzowana praca doktorska zawiera wyniki badań, analizy i wnioski, które mogą być cenne z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia. Badania doświadczalne obejmowały m. in. badania pełnowymiarowych (wielkoskalowych) elementów płytowych z rdzeniem z wełny mineralnej poddanych oddziaływaniu pożaru. Aby wesprzeć badania eksperymentalne wykonany został model MES zagadnienia, który zastosowano w badaniach symulacyjnych opisujących zachowanie płyt warstwowych. Badania symulacyjne modelu komputerowego obejmowały analizą przepływu ciepła oraz zagadnień termomechanicznych związanych z wpływem degradacji styku wełna mineralna - okładzina stalowa pod wpływem wysokich temperatur na odpowiedź termiczną i mechaniczną analizowanych elementów. To wieloaspektowe podejście pozwala na szczegółowe przewidywanie odporności ogniowej poprzez uchwycenie oddziaływania parametrów wpływających na

zachowanie płyt warstwowych jak również odwzorowanie obserwacji eksperymentalnych, w tym przemieszczeń. Stanowi to podstawę do zrozumienia zachowania płyt warstwowych w sytuacji pożaru i informuje o dalszych strategiach w zakresie projektowania, optymalizacji i bezpieczeństwa elementów. Wieloaspektowość zrealizowanej pracy świadczy o umiejętnościach Doktoranta w zakresie planowania badań doświadczalnych jak również modelowania złożonych problemów fizycznych z zastosowaniem metod komputerowych, doboru odpowiedniej metodyki badań, projektowania stanowisk badawczych, prowadzenia badań i analizy uzyskanych wyników. Kandydat potrafi dokonywać krytycznej oceny własnych wyników badań i analiz oraz formułować poprawne wnioski o charakterze poznawczym. Recenzowana praca jest wykonana poprawnie od strony estetycznej oraz co warto podkreślić jest napisana w języku angielskim. Do przedstawienia rozdziałów, rysunków i tabel w całej pracy zastosowano spójną formę graficzną co korzystnie wpływa na czytelny i jednoznaczny odbiór treści zawartych w pracy.

Do najważniejszych, oryginalnych osiągnięć naukowych Doktoranta, zaprezentowanych w recenzowanej rozprawie, które stanowią jednocześnie weryfikację hipotez i celów postawionych w rozdziale 1 pracy, należy zaliczyć:

- Opracowany model analityczny bazujący na funkcji regresji pozwalający na ocenę dyfuzyjności cieplnej, który uwzględnia anizotropię wełny mineralnej związaną z orientacją włókien. Proponowane podejście, zostało szczegółowo opisane w rozdziale 3 i pozwala na uzyskanie parametrów termicznych wełny mineralnej do symulacji zachowania płyty warstwowej w warunkach ekspozycji na pożar.
- Przeprowadzone systematyczne badania eksperymentalne i numeryczne, które podkreślają szczególnie istotny w odniesieniu do badań pożarowych wpływ gęstości, grubości rdzenia oraz okładzin stalowych na zachowanie się płyt warstwowych w warunkach temperatury pożaru.
- Sformułowany bazujący na metodzie elementów skończonych (MES) schemat podejścia obliczeniowego pozwalający na prognozowanie zachowania się płyt warstwowych w warunkach pożaru. Podejście umożliwia ekstrapolację wyników badań laboratoryjnych testów ogniowych na panele o zróżnicowanych wymiarach, kształtach i warunkach brzegowych. Podejście ułatwia prognozowanie wydajności termicznej i strukturalnej płyt warstwowych bez konieczności przeprowadzania szeroko zakrojonych badań eksperymentalnych.
- Wykazany istotny wpływ warunków brzegowych na zachowanie się paneli warstwowych w warunkach pożaru. Wnioski są tu rezultatem analizy wyników symulacji komputerowych, w których definiowano różne warunki brzegowe w celu zrozumienia mechanizmów wpływających na termomechanikę analizowanych elementów.

Tak jak w odniesieniu do każdego tego typu opracowania również w przypadku recenzowanej rozprawy można sformułować szereg uwag dyskusyjnych, które zostaną przedstawione w kolejnych punktach, a które nie wpływają na całościowy pozytywny odbiór pracy przez Recenzenta.

4.2. Uwagi krytyczne, wątpliwości i pytania do Autora

4.2.1. Uwagi ogólne

- (a) W rozdziale I pracy Autor przedstawił luki badawcze jakimi są w odniesieniu do płyt warstwowych zagadnienia związane z początkową fazą ich nagrzewnia jak również opis ewolucji uszkodzeń materiału w warunkach pożaru w odniesieniu do obliczeń elementów warstwowych z zastosowaniem MES. Odnoszę wrażenie, że w części studialnej w rozdziale II Autor nie poparł w wystarczającym stopniu tego stwierdzenia poprzez analizę istniejących publikacji naukowych. Mówiąc np. o medalach termomechanicznych Doktorant oparł się o analizę około pięciu publikacji.
- (b) W pracy brak jest rozdziału, w którym jest opisany model termomechaniczny analizowanego w rozprawie zagadnienia. Pewne elementy odnoszące się do takiego modelu zostały zaproponowane w punktach 2.4.2 w studialnym rozdziale 2 oraz w punkcie 5.3 w rozdziale 5 w części odnoszącej się do opisu delaminacji klejonych styków wełny mineralnej i okładzin z zastosowaniem elementów kohezyjnych.
- (c) Autor posługuje się w pracy pojęciem sprzężonego modelu przepływu ciepła, ale nie jest do końca jasne co rozumie pod tym terminem. Model termomechaniczny zastosowany w pracy powinien być zdefiniowany. Taki gotowy ogólny model, w którym analizowany jest ośrodek termo-sprężysto-plastyczny z efektami uszkodzeń można znaleźć m. in. w książce Lemaitre i Chaboche (1990). W pracy nie pojawiają się również opisy modeli konstytutywnych materiałów, które zastosowano w obliczeniach. Można się domyślać, że w odniesieniu do stali został zaimplementowany model Romberga-Osgooda jako model analizowany w cytowanej pracy [29] oraz zaimplementowany w programie ABAQUS/Standard. Co z modelem wełny mineralnej? W ocenianej rozprawie powinny być również jasno zdefiniowane parametry materiałów zastosowanych w obliczeniach a zwłaszcza w odniesieniu do zagadnień zmiany własności parametrów pod wpływem temperatury. Moim zdaniem, ten element pracy warto omówić w trakcie obrony pracy Doktorskiej.
- (d) W rozdziale 5 Autor informuje o stosowaniu w symulacjach komputerowych podejścia obliczeniowego explicite (podejście zaimplementowane w module

Abaqus Explicite). Zasadne jest tu pytanie, dlaczego? Tego typu podejście jest preferowane w analizach dynamicznych, silnie nieliniowych i generalnie ograniczonych do krótkiego czasu zjawiska. Zastosowanie podejścia obliczeniowego Implicite (ABAQUS Standard) prawdopodobnie pozwoliłoby na uzyskanie lepszych wyników obliczeniowych w odniesieniu do analizowanego problemu.

- (e) W rozdziale 2, w punkcie 2.5.5. Autor wspomina o modelowaniu zagadnienia sprzężonego termomechanicznego jako zagadnienia w pełni sprzężonego bądź sekwencyjnie sprzężonego. Autor nie wyjaśnia precyzyjnie co przez te pojęcia rozumie. W przypadku pól sprzężonych w obu kierunkach pole mechaniczne ma wpływ na pole temperatury. Oba równania są rozwiązywane równocześnie. Jak tu rozumieć sekwencyjne sprzężenie? Zgodnie z tym co wspomina Doktorant pole temperatury i pole mechaniczne były analizowane niezależnie. W takim przypadku bardziej precyzyjne byłoby określenie model jednokierunkowo sprzężony. Jak te elementy obliczeń były realizowane w praktyce obliczeniowej w środowisku ABAQUS? Jak istotny może być wpływ delaminacji na rozkład pól temperatury w analizowanym elemencie? Nie znalazłem takiego porównania w odniesieniu do analizy nagrzewania okładziny zewnętrznej panelu. Moim zdaniem, ten element pracy również powinien być omówiony w trakcie obrony pracy Doktorskiej.
- (f) W rozdziale 3, na rys. 25-27 Autor przedstawia wartości średnie dyfuzyjności cieplnej w funkcji temperatury. W tabeli 3 na str. 40 na podstawie pracy [49] Autor zamieszcza zależne od temperatury funkcje opisujące parametry cieplne wełny mineralnej dla wełny o gęstości powyżej 26 kg/m^3 . Czy w badaniach przeprowadzanych w pracy sprawdzano jaka będzie rozbieżność parametrów cieplnych wełny mineralnej w zakresie współczynnika przewodności cieplnej przy wyznaczeniu tego współczynnika na podstawie wyników badań dyfuzyjności oraz funkcji parametrów materiałowych dostępnych w tabeli 3. Pytanie to wydaje się zasadne w świetle badań (kompleksowych) prowadzonych w rozdziałach 4 i 5 gdzie jako parametry modelu zostały przyjęte parametry materiałowe na podstawie wspomnianej tabeli oraz model termicznie izotropowy.
- (g) Czy efekty rozbieżności predykcji temperatury na nieogrzewanej powierzchni mogą wynikać z niedoskonałości izolacji termicznej w zamkach? Z modelu zaproponowanego w pracy wynika, że izolacja termiczna w modelu jest jednakowa dla całej konstrukcji płyty i pominięty został wpływ połączenia na transport ciepła w elemencie konstrukcyjnym.
- (h) W rozdziale 2 pracy, na str. 29 Autor sugeruje, że odspojenie warstw wełny mineralnej i okładziny może prowadzić do wzrostu oporu cieplnego płyty

warstwowej. Podobnie, na str. 88 Doktorant wspomina o konieczności uwzględnienia delaminacji warstw. Jak zdaniem Autora ta separacja powinna wpłynąć na przyrost temperatury? Na rysunku 48 wynik pomiarów eksperymentalnych w odniesieniu do temperatury szybko rośnie od czasu ok. 1000 sek. do 40°C, stabilizuje się a potem znowu szybko rośnie i po ok. 7000 sek. temperatura ulega stabilizacji na poziomie około 130°C. W przypadku symulacji komputerowej bez efektów degradacji strukturalnej płyta nagrzewa się o wiele wolniej w początkowym etapie. Wzrost temperatury zaczyna się od około 2000 sek. co sugeruje pytanie zarówno o jakość parametrów materiałowych odniesionych do pracy [49] i tab. 3 jak i wpływ degradacji styku w badaniach eksperymentalnych w odniesieniu do symulacji komputerowej (nagrzewanie w badanym elemencie przebiega szybciej niż w modelu transportu ciepła, w którym nie uwzględniono degradacji styku).

- (i) Autor nie pokazał zdjęć analizowanych płyt warstwowych (szczegóły). Dostępne są jedynie szkice. Nie jest do końca jasne jak wyglądała budowa węzłów oraz krawędzi płyty warstwowej. Czy wszystkie brzegi tych elementów były obudowane blachą czy tylko zamki?
- (j) Str. 61, rys. 28 obrazuje ustalanie się równowagi cieplnej pomiędzy węzłami T1 i T7 dla których zadano historię (pomierzoną) zmian temperatury w czasie. Czy test nie powinien polegać na zdefiniowaniu funkcji nagrzewania jedynie dla temperatury T1 i przeprowadzeniu symulacji niestacjonarnego przepływu ciepła? Być może należy rozwiązać problem niestacjonarnego transportu ciepła dla zagadnienia płaskiego dla próbki pokazanej na rys. 14?
- (k) W rozdziale 5.4.1 autor poddał analizie wpływ warunków brzegowych na przykładzie panelu modelowanego warstwowym elementem powłokowym (belka/płyta warstwowa obciążona temperaturą). Celem było wykazanie wpływu warunków brzegowych. Moim zdaniem rozważania w tym zakresie mogłyby być bardziej doprecyzowane. Co ważne wnioskowanie mogłoby być wzbogacone z jednej strony o rozwiązania analityczne (funkcje przemieszczeń dla belek sprężystych np. Evert Hooijkamp (2014), Balan Raju & Vadivuchezhian Kaliveeran (2025)) z drugiej o płaską analizę 2D takiego panelu z uwzględnieniem delaminacji oraz termo-sprężysto-plastycznego materiału. W przypadku belek sprężystych jednorodnych obustronnie utwierdzonych poddanych liniowemu gradientowi temperatury przemieszczenie w środku rozpiętości wynosi zero (ew. minimalne, bliskie zero przemieszczenie w kierunku ogrzewanej powierzchni) do momentu utraty stateczności natomiast w pozostałych przypadkach belka powinna ugiąć się w kierunku ogrzewanej części płyty co pokazuje także rys. 57. Analiza zginania

modelu 2D płyty warstwowej pozwoliłaby na dokładniejszy opis zachowania elementu w funkcji temperatury, czasu i wysokości rdzenia.

- (l) W rozdziale 5 nie przedstawiono zmian w punktach pomiarowych na powierzchni nieogrzewanej w funkcji czasu. Jak wyglądała tu analiza termomechaniczna (analiza sprzężona). Czy obliczenia przedstawione w modelu 3D w zakresie analizy termicznej różniły się od tych przedstawionych w rozdziale 4? Czy analiza termomechaniczna wpływała tylko na pole mechaniczne (elementy kohezyjne) bez wpływu na parametry cieplne modelu?

4.2.2. Uwagi szczegółowe:

- (a) Str. 42, wzór (2.3): Autor podaje równanie transportu ciepła (równanie bilansu energii) określając je jako równanie dyfuzji ciepła co nie jest prawdą w odniesieniu do nazewnictwa.
- (b) Str. 44-46, pkt. 2.4.2: podano zależności pozwalające na obliczenie dyfuzyjności cieplnej (2.7-2.14), które nie powinny się pojawić w części dotyczącej badań literaturowych a w brakującym (zdanie Recenzenta) rozdziale skupiającym się na modelu matematycznym problemu.
- (c) Str. 57-60, pkt. 3.5.2: w odniesieniu do wszystkich analizowanych wyników badań własnych brak informacji na temat rozrzutu wyników (np. współczynnika zmienności czy odchylenia standardowego).
- (d) Str. 57-60: autor podaje na rys. 20-25 wartość dyfuzyjności cieplnej z mnożnikiem 10^{-6} natomiast na rys. 26-27 jako liczby dziesiętne co jest nieczytelne.
- (e) Str. 61-62: na rys. 29, zapis na osi x sugeruje czas zjawiska w przedziale od 0 do 18 sek.
- (f) Str. 105: nie jest jasna orientacja paneli, w odniesieniu do układu współrzędnych (powinien być naniesiony układ współrzędnych na rysunku).
- (g) Str. 107, rys. 57: w tekście podpisu pod rysunkiem mówi się o przemieszczeniach poziomych podczas gdy w tekście (str. 106) mówimy o ugięciach (przemieszczeniach pionowych).
- (h) Str. 107: Autor wspomina w tekście o zróżnicowanych warunkach podparcia w odniesieniu do Testów 1 i 2. Wydaje mi się, że w pracy nie przedstawiono różnic w odniesieniu do budowy stanowisk badawczych i próbek dla tych typów paneli (poza niewielkimi różnicami w wymiarach długości i szerokości elementu).

- (i) Str. 108: w tekście (pod rys. 58) napisano, że w przypadku obustronnego utwierdzenia panel deformuje się najpierw na zewnątrz potem do wewnątrz. Na rys. 57 i 58 jest odwrotnie.
- (j) Str. 111: sposób podparcia elementów (warunki encestre) jest dyskusyjny, podobnie jak stosowanie samych łączników (elementy typu „bushing connector”), które mogą wpływać na rozbieżności w etapie początkowym poprzez kumulację naprężeń w blachach. W prawidłowo sformułowanym modelu dodatkowo powinien być uwzględniony kontakt pomiędzy kątownikiem a okładzinami płyty warstwowej.
- (k) Str. 112: brak opisu elementu typu „bushing conector”.
- (l) Str. 148: błąd w nazwisku, powinno być Craveiro.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego modelowania i analizy zachowanie się paneli warstwowych w warunkach pożaru. Praca ma potencjał praktyczny, który może mieć znaczenie przy ocenie bezpieczeństwa pożarowego elementów konstrukcji budowlanych.

Doktorant wykazał się wiedzą teoretyczną, warsztatem badawczym oraz umiejętnością modelowania konstrukcji, odpowiednimi do realizacji podjętego tematu rozprawy. Sformułowane na wstępie rozprawy cele pracy zostały zrealizowane, a dzięki eksperymentalnej i komputerowej weryfikacji potwierdzono również słuszność hipotez postawionych w pracy. Należy podkreślić, że uwagi krytyczne i wątpliwości zawarte w niniejszej opinii nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej.

Niniejszym stwierdzam, iż rozprawa doktorska pt. „Structural behavior of sandwich panels under fire conditions” spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024 r. poz. 1571, z późniejszymi zmianami).

W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. El Mehdi ABLAOUI do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.