

## **Structural behavior of sandwich panels under fire conditions**

### **Abstract**

The thermal and structural behavior of sandwich panels under fire conditions was rigorously investigated through a systematic methodology combining experimental testing and numerical modelling. The aim of the research was to determine the influence of the properties of core materials, adhesive layers, geometric configurations and boundary conditions on the fire resistance of sandwich panels. A comprehensive literature review was conducted to identify existing research gaps and to establish the framework for experimental and numerical approaches. Experiments, included both small-scale and large-scale tests, provided valuable data on thermal diffusivity, anisotropic behavior, and structural performance of sandwich panels with mineral wool cores.

The findings from small scale tests highlighted the significant influence of temperature on material properties of the mineral wool. The anisotropic thermal diffusivity of the mineral wool was identified as a critical parameter for ensuring both insulation and structural integrity during fire exposure, which is highly dependent on the development of the thermal gradient between surfaces of the sandwich panel. Large-scale fire tests demonstrated the effects of geometric configurations, joint design, and boundary conditions on overall fire resistance and structural stability. These experiments provided essential benchmarks for validating numerical simulations.

Finite element models were developed using ABAQUS software, incorporating material properties, complex thermomechanical interactions, and advanced interface modelling to simulate fire conditions. The numerical simulations captured heat transfer behavior, displacement trends, and thermomechanical responses observed during laboratory tests, underscoring their robustness and applicability for real fire scenarios. The integration of experimental and numerical approaches provided a reliable framework for understanding the fire performance of sandwich panels and enabled the extrapolation of results to a wide range of fire scenarios.

The outcomes of this research have primarily contributed to a general understanding of the complex thermal and mechanical behavior of sandwich panels under the influence of fire actions. By analysing the influence of material properties, wall dimensions, as well as the effects of boundary conditions on the structural behavior, significant insights into fire-induced deformations and material interactions have been gained. Furthermore, the study highlights the importance of cohesive behavior in thermomechanical analysis, particularly in capturing delamination and material separation under thermal stress.

By bridging theoretical knowledge with practical applications, this investigation advances the understanding of fire behavior in sandwich panels and provides actionable insights for improving their resilience under fire conditions. The findings have far-reaching implications for fire safety engineering, structural design, and regulatory frameworks, offering a robust foundation for future innovations in materials science and construction technology.

## Streszczenie

Rozwój temperatury i zachowanie paneli warstwowych w warunkach pożaru zostało szczegółowo przeanalizowane przy zastosowaniu metodologii łączącej badania eksperymentalne z modelowaniem numerycznym. Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu właściwości wełny mineralnej stanowiącej wypełnienie rdzenia, warstw adhezyjnych, geometrii oraz warunków brzegowych na odporność ogniową paneli warstwowych. Przeprowadzono kompleksowy przegląd literatury w celu identyfikacji istniejących luk badawczych oraz opracowania podstaw metodyki eksperymentalnej i numerycznej. Badania eksperymentalne objęły zarówno scenariusze pożarowe w małej, jak i dużej skali, dostarczając cennych danych dotyczących dyfuzyjności cieplnej, anizotropii termicznej oraz właściwości mechanicznych rdzeni z wełny mineralnej.

Wyniki testów w małej skali wykazały istotny wpływ właściwości wełny mineralnej na odporność ogniową paneli warstwowych. Anizotropowa dyfuzyjność cieplna wełny mineralnej została zidentyfikowana jako kluczowy parametr warunkujący zarówno izolacyjność, jak i integralność strukturalną zależną od gradientu temperatury pomiędzy okładzinami płyt. Badania w dużej skali ukazały wpływ konfiguracji geometrycznych, konstrukcji złączy oraz warunków brzegowych na ogólną odporność ogniową i trwałość konstrukcji. Eksperymenty te stanowiły istotne punkty odniesienia do walidacji symulacji numerycznych.

Modele elementów skończonych zostały opracowane z wykorzystaniem oprogramowania ABAQUS, uwzględniając właściwości materiałowe, złożone interakcje termomechaniczne oraz zaawansowane modelowanie interfejsów celem symulacji warunków pożarowych. Symulacje numeryczne odzwierciedlały zachowanie w zakresie przewodzenia ciepła, trendy przemieszczeń oraz reakcje termomechaniczne obserwowane w trakcie testów laboratoryjnych, podkreślając ich wiarygodność oraz przydatność w rzeczywistych scenariuszach pożarowych. Integracja podejścia eksperymentalnego i numerycznego umożliwiła stworzenie rzetelnego modelu służącego do analizy zachowania paneli warstwowych w warunkach pożaru oraz ekstrapolację wyników na szerszy zakres sytuacji pożarowych.

Wyniki przeprowadzonych badań przyczyniły się w głównej mierze do pogłębienia ogólnego zrozumienia złożonego zachowania termicznego i mechanicznego paneli warstwowych pod wpływem działania temperatur pożarowych. Poprzez analizę wpływu właściwości materiałowych, wymiarów ścian oraz efektów warunków brzegowych na zachowanie przemieszczeń uzyskano istotne informacje dotyczące deformacji będących skutkiem rozwoju pola temperatury wewnątrz struktury oraz interakcji materiałowych. Ponadto wykazano znaczenie konieczności stosowania kompleksowego podejścia w analizie termomechanicznej, w szczególności w odniesieniu do odwzorowania zjawisk delaminacji oraz separacji materiałów pod wpływem naprężeń termicznych.

Poprzez połączenie teorii z zastosowaniami praktycznymi, przeprowadzone badania przyczyniły się do rozwoju wiedzy na temat zachowania ogniowego paneli warstwowych oraz dostarczyły praktycznych wniosków służących zwiększeniu ich odporności ogniowej. Uzyskane rezultaty mają szerokie implikacje dla inżynierii bezpieczeństwa pożarowego i projektowania konstrukcji, stanowiąc solidną podstawę dla przyszłych innowacji w dziedzinie nauki o materiałach oraz technologii budowlanych.