

Streszczenie pracy

Niniejsza rozprawa doktorska, pod tytułem „*Badania elementów konstrukcyjnych pojazdów na eksplozje wewnętrzne*”, porusza aspekt bezpieczeństwa biernego w środkach transportu publicznego, w kontekście potencjalnego zagrożenia, jakimi są ataki terrorystyczne z wykorzystaniem materiałów wybuchowych. Wysiłek włożony w pracę nad zagadnieniem miał na celu weryfikację czy niewielka zmiana sposobu projektowania wybranych elementów wyposażenia wagonu może w znacznym stopniu ograniczyć efekty eksplozji wewnątrz taboru kolejowego.

Rozprawę otwiera obszerny przegląd stanu wiedzy, w tym analiza szczególnych zagrożeń transportu publicznego, przegląd przepisów kształtujących bezpieczeństwo systemów kolejowych Unii Europejskiej oraz sposoby zarządzania bezpieczeństwem przez podmioty odpowiedzialne. Praca ma odniesienie do najnowszych wydarzeń legislacyjnych Unii, takich jak zeszłoroczne konsultacje TSI. Studium przypadku stanowi podsumowanie najważniejszych badań oraz osiągnięć związanych z zagrożeniem transportu publicznego. Poruszono kwestie oddziaływania fali uderzeniowej na pasażerów oraz nadwozie pojazdu. Przedstawione zostały zarówno przeprowadzone dotychczas analizy numeryczne, jak i badania odporności pojazdów, z wykorzystaniem materiałów wybuchowych.

Zaproponowaną koncepcję kształtowania wytrzymałości wybranych elementów wyposażenia wagonu, mającą na celu poprawienie ogólnej odporności pojazdu na eksplozje wewnętrzne, odniesiono do opracowanych wcześniej analiz oraz badań. W ramach niniejszej pracy wytypowano trzy elementy wyposażenia, których kształtowanie może mieć największy wpływ na zmniejszenie skutków eksplozji wewnątrz taboru kolejowego. Koncepcja polega na ograniczeniu wytrzymałości pasażerskich okien bocznych, systemów wejściowych oraz zwiększeniu wytrzymałości ściany kabiny maszynisty.

Na podstawie przeprowadzonych badań kompozytów warstwowych, uwzględniając założenia początkowe, dokonano wyboru zalecanego materiału rdzenia do budowy ściany kabiny maszynisty, stanowiącej jedną z proponowanych do zaimplementowania w pojazdach osłon przeciwwybuchowych. Badania materiałowe zostały przeprowadzone metodą zginania czteropunktowego kompozytowej belki. Zbadano wpływ zmiany grubości rdzenia na właściwości mechaniczne kompozytów w próbach quasi-statycznych. Na podstawie wyznaczonych punktów charakterystycznych poszczególnych przebiegów obliczone zostały takie parametry rdzenia jak wytrzymałość na ścinanie oraz granica plastyczności, które pozwoliły na przeprowadzenie analizy porównawczej.

By możliwie najlepiej odwzorować sposób obciążenia elementów wyposażenia taboru podczas eksplozji wewnętrznej, bez wykorzystywania w badaniach materiałów wybuchowych, przeprowadzono dynamiczne testy na uproszczonym modelu ściany kabiny maszynisty oraz oknach bocznych. W celach poznawczych próbki ścian wytworzono w dwóch różnych grubościach, natomiast próbki okien były mocowane do stanowiska na dwa różne sposoby. Badania zostały przeprowadzone na specjalnie zaprojektowanym do tego celu, autorskim stanowisku testowym. W pracy zawarto opis stanowiska, wpływ poszczególnych parametrów na warunki w komorze testowej oraz szczegółowo omówiono uzyskane wyniki badań, w tym również wyniki quasi-statycznych badań wytrzymałościowych systemu bocznych drzwi pasażerskich.

Najważniejszym, wyciągniętym na podstawie autorskich badań oraz przeprowadzonej analizy dotychczasowych osiągnięć wnioskiem jest stwierdzenie, że skutki eksplozji wewnętrznych w środkach transportu publicznego mogą być ograniczone poprzez odpowiednie kształtowanie wytrzymałości wybranych elementów wyposażenia pojazdu. Praca została uzupełniona o propozycję aktualizacji norm branżowych o zapisy dotyczące ograniczania wytrzymałości takich elementów wyposażenia jak boczne okna pasażerskie oraz systemy drzwi wejściowych.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo bierne, eksplozje wewnętrzne, badania kompozytów warstwowych, badania dynamiczne, zagrożenia transportu publicznego, terroryzm

Abstract

This dissertation, entitled '*Research into the resistance of vehicle structural elements to internal explosions*', addresses the passive safety aspect of public transport in the context of the potential threat of terrorist attacks using explosives. The aim of the paper was to verify whether a minor change in the design of selected elements of rolling stock equipment could significantly reduce the effects of explosions inside the vehicle.

The thesis begins with a comprehensive review of the state of the art, including an analysis of the specific hazards of public transport, an overview of the legislation shaping the safety of railway systems in the European Union and the management of safety by the responsible parties. The dissertation makes reference to recent legislative developments in the EU, such as last year's TSI consultation. The case study summarises the main research and developments in the field of public transport hazards. The effects of shock waves on passengers and vehicle bodies are considered. Both numerical analyses carried out to date and vehicle resistance tests using explosives are presented.

The proposed concept of designing the strength of selected elements of rolling stock equipment, aimed at improving the overall resistance of the vehicle to internal explosions, was based on analyses and tests developed in the past. The study selected three equipment elements, the design of which can have the greatest impact on reducing the effects of internal explosions in rolling stock. The concept is to reduce the strength of the passenger side windows and entrance systems and to increase the strength of the driver's cab wall.

On the basis of the tests carried out on sandwich composites, and taking into account the initial assumptions, the recommended core material was selected for the construction of the driver's cab wall, which is one of the blast shields proposed for use in vehicles. Material tests were carried out by four-point bending of a composite beam. The effect of varying the core thickness on the mechanical properties of the composites was studied in quasi-static tests. Based on the identified characteristic points of each run, core parameters such as shear strength and yield strength were calculated for comparative analysis.

In order to best represent the way in which rolling stock equipment components are loaded during an internal explosion, without using explosives in the tests, dynamic tests were carried out on a simplified model of the driver's cab wall and side windows. For research purposes, wall specimens of two different thicknesses were produced, and two different mounting methods were used for the window specimens. The tests were carried out on a specially designed, proprietary test bench. The paper includes a description of the test bench, the influence of various parameters on the conditions in the test chamber and a detailed discussion of the test results received, including the results of quasi-static strength tests of the passenger side door system.

The main conclusion drawn from the author's research and analysis of past achievements is that the effects of internal explosions in public transport vehicles can be limited by appropriate design of the resistance of selected elements of vehicle equipment. The work is complemented by a proposal to update industry standards with provisions to limit the strength of equipment such as passenger side windows and access door systems.

Keywords: passive safety, internal explosions, sandwich composite testing, dynamic testing, public transport hazards, terrorism