

dr hab. inż. Sławomir Kciuk, prof. PŚ.  
Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej  
Politechnika Śląska

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**  
**mgr. inż. Cezarego Borowieckiego**

pod tytułem:

*„Badania odporności elementów konstrukcyjnych pojazdów  
na eksplozje wewnętrzne”*

Podstawa opracowania: Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna  
Politechniki Wrocławskiej.

## **1. Ocena aktualności podjętej tematyki i założonego celu rozprawy**

W recenzowanej rozprawie przedstawiono interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowania praktyczne problem dotyczący zwiększenia odporności konstrukcji pojazdów szynowych na eksplozje wewnętrzne.

Dynamiczna zmiana parametrów i wymagań eksploatacyjnych współczesnych pojazdów szynowych stawia przed konstruktorami zupełnie nowe zadania w zakresie stosowania nowoczesnych rozwiązań technicznych oraz synergicznego, systemowego podejścia do projektowania i wytwarzania tego typu wyrobów. Złożoność wyrobu, występowanie wielu systemów: mechanicznych, hydraulicznych, pneumatycznych, mechatronicznych, a także wysokie koszty prowadzenia prac badawczo - rozwojowych i wdrożeniowych wymagają użycia najnowocześniejszych metod projektowania i systemów zarządzania projektami. Dokumentacja pojazdu szynowego powstaje już nie tylko w biurze konstrukcyjnym, lecz także w laboratorium mikroprocesorowym, laboratorium oprogramowania czy laboratorium inżynierii materiałowej. Coraz ważniejsze jest wzajemne porozumiewanie się konstruktorów o różnych specjalnościach, domenach.

Jednym z zasadniczych warunków determinujących wymagania stawiane przed producentami pojazdów szynowych jest zapewnienie wyrobów o wysokich zdolnościach w zakresie mobilności, trwałości ale przede wszystkim w zakresie bezpieczeństwa podróżowania pasażerów. Wydaje się słusznym założenie, że potencjał produkcyjny taboru

kolejowego powinien być budowany z maksymalnym wykorzystaniem krajowego potencjału przemysłowego, serwisowego i remontowego.

Transport kolejowy odgrywa kluczową rolę w globalnej gospodarce w tym gospodarce krajowej, zapewniając efektywny i zrównoważony środek przemieszczania dużych ilości towarów i pasażerów. Jednakże, aby sprostać rosnącym wymaganiom współczesnego świata, producenci taboru kolejowego muszą skoncentrować się na zwiększaniu swojego potencjału. To wyzwanie obejmuje zarówno rozwijanie innowacyjnych technologii, jak i optymalizację procesów produkcyjnych.

Jednym z kluczowych obszarów, na których producenci taboru kolejowego powinni się skupić, jest innowacyjność. Wprowadzanie nowych technologii, takich jak pojazdy autonomiczne, inteligentne systemy zarządzania flotą czy zastosowanie zaawansowanych materiałów, może znacząco poprawić wydajność i bezpieczeństwo transportu kolejowego.

Innym kluczowym elementem jest optymalizacja procesów produkcyjnych. Produkcja taboru kolejowego musi być elastyczna, zorientowana na efektywność i dostosowywalna do zmieniających się warunków rynkowych, optymalna ze względu na założone wymagania techniczne.

Ważnym aspektem rozwoju przemysłu taboru kolejowego jest również współpraca między producentami a uczelniami technicznymi. Partnerskie relacje umożliwią bardziej efektywne dostosowanie produktów do specyficznych potrzeb rynku, a także wspólny rozwój infrastruktury kolejowej. Taka współpraca umożliwi skuteczną wymianę wiedzy i doświadczeń w celu lepszego zrozumienia aktualnych trendów oraz potrzeb branżowych. Przedmiotowa dysertacja odgrywa znaczącą rolę w rozwoju kadry inżynierskiej. Inżynierowie i specjaliści branżowi powinni być stale kształceni, aby być na bieżąco z najnowszymi technologiami oraz umiejętnościami niezbędnymi do projektowania i produkcji nowoczesnego taboru kolejowego.

W związku z rozważanymi w pracy zagadnieniami, szeroko analizowano i opisano problematykę zagrożeń w środkach transportu publicznego, regulacji prawnych - przepisów w zakresie bezpieczeństwa systemów kolejowych Unii Europejskiej oraz sposobów zarządzania bezpieczeństwem, oddziaływania fali uderzeniowej na pasażerów oraz konstrukcje nadwozi pasażerskich pojazdów szynowych, analiz numerycznych i badań doświadczalnych odporności pojazdów na oddziaływanie fali po wybuchu materiałów pirotechnicznych.

Opisywane i analizowane zagadnienia są specyficzne, ponieważ towarzyszą procesom produkcji wybranej klasy pasażerskich pojazdów szynowych, gdzie zapewnienie wysokiej jakości wyrobu, w tym wysokich parametrów trakcyjnych przekłada się na bezpieczeństwo pasażerów oraz długi czas bezawaryjnej eksploatacji.

Biorąc powyższe pod uwagę, wybrany temat pracy doktorskiej uważam za aktualny zarówno pod względem naukowym, utylitarnym jak również pod względem zastosowania wyników badań w praktyce.

Tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn, obecnie inżynieria mechaniczna.

## 2. Przegląd treści pracy

Recenzowana praca została napisana na 195 stronach maszynopisu formatu A4; składa się z ośmiu rozdziałów oraz wykazu tabel i rysunków i bibliografii, w skład której wchodzi 102 pozycje literatury.

W rozdziale pierwszym, we Wprowadzeniu zawarto treści nawiązujące do zagadnień, które będą poruszane w kontekście badania odporności elementów konstrukcyjnych nadwozia pojazdów szynowych na eksplozje wewnętrzne.

W drugim rozdziale, Autor dokonał obszernej analizy stanu wiedzy w zakresie szczególnych zagrożeń bezpieczeństwa transportu, bezpieczeństwa transportu kolejowego zapisanego w prawodawstwie UE, systemów zarządzanie bezpieczeństwem kolei, technicznych specyfikacji interoperacyjności w odniesieniu do bezpieczeństwa.

Na koniec drugiego rozdziału, Autor podsumowuje w konwencji studium przypadku poruszone powyżej zagadnienia. Przedstawione zostały analizy numeryczne, jak i badania doświadczalne odporności pasażerskich pojazdów szynowych z wykorzystaniem materiałów wybuchowych.

Rozdział trzeci poświęcono tezie pracy, którą sformułowano: „Skutki eksplozji wewnętrznej w środkach transportu publicznego mogą być ograniczone poprzez kształtowanie wytrzymałości wybranych elementów wyposażenia pojazdu” oraz opisanie motywacji do podjęcia zaproponowanej tematyki badawczej i zakresu pracy.

W kolejnym, czwartym rozdziale, zawarto opis koncepcji kształtowania ogólnie pojętej wytrzymałości wybranych elementów wyposażenia wagonu: okien bocznych, systemów wejściowych oraz ściany (struktur dysypacyjnych) kabiny maszynisty w celu zwiększenia ogólnej odporności pojazdu na eksplozje wewnętrzne. Zaproponowane podejście zakłada ograniczenie (zmniejszenie) wytrzymałości więzów pasażerskich okien bocznych i systemów wejściowych oraz zwiększeniu wytrzymałości ściany kabiny maszynisty. Tak określony problem badawczy, odniesiono do literaturowych analiz oraz badań.

W rozdziale 5. i 6. Opisano badania identyfikacyjne wytypowanych struktur w kontekście przyjętej hipotezy oraz opracowanej koncepcji kształtowania wytrzymałości. Na podstawie przeprowadzonych badań kompozytów warstwowych, uwzględniając założenia początkowe, dokonano wyboru zalecanego materiału rdzenia do budowy ściany - przegrody 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 rdzeni 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 (przegrody) kabiny maszynisty oraz oknach bocznych. Próbki ścian wytworzono w dwóch różnych grubościach, zaś okna boczne były badane przy dwóch wariantach. Eksperymenty identyfikacyjne zostały

przeprowadzone na autorskim stanowisku testowym. Zawarte w rozdziałach 5. i 6. opisy planu eksperymentów, uwzględniają zarówno warunki podparcia jak i informacje o ilości typach i rozmieszczeniu czujników pomiarowych wraz z torem pomiarowym.

Rozdział 7. Zawiera analizę otrzymanych wyników badań oraz określenie wpływu wybranych parametrów na uzyskane wyniki badań.

W ostatnim rozdziale zawarto podsumowanie i wnioski końcowe.

Spis literatury uwzględnia szereg prac z zakresu omawianej tematyki badawczej, w tym wiele prac o podstawowym znaczeniu dla rozważanego problemu, zawiera również wiele dokumentów normatywnych dotyczących poruszanej tematyki.

### **3. Ocena merytoryczna, wyniki pracy i ich ocena**

Recenzowana dysertacja autorstwa mgr. inż. Cezarego Borowieckiego jest ambitnym i złożonym opracowaniem, które skupia się na badaniu odporności wybranych elementów: okien bocznych, systemów wejściowych oraz ścian (struktur dyssypacyjnych) kabiny maszynisty, pasażerskich pojazdów szynowych na eksplozje wewnętrzne. Autor wykazał się głęboką wiedzą z zakresu inżynierii strukturalnej, bezpieczeństwa pojazdów szynowych oraz analizy skutków eksplozji.

Podjęte przez Autora wyzwanie opracowania skutecznej, ilościowo i jakościowo, metody identyfikacji doświadczalnej i określenia wpływu wybranych parametrów na wytrzymałość nadwozia wybranej klasy pojazdu szynowego wymagała nowoczesnego podejście do zagadnienia.

Rozważania teoretyczne oraz zaproponowana metodyka identyfikacji doświadczalnej wybranych – istotnych parametrów na wytrzymałość wybranych struktur pasażerskiego pojazdu szynowego jest znaczącym osiągnięciem naukowym autora. Tematyka recenzowanej monografii mieści się w nurcie prac o znaczeniu zarówno teoretycznym, jak i praktycznym, dotyczy bowiem istotnych zagadnień z punktu widzenia optymalizacji konstrukcji oraz eksploatacji wybranej klasy pojazdów szynowych z uwzględnieniem nie tylko parametrów trakcyjnych lecz również bezpieczeństwa pasażerów na skutek eksplozji wewnętrznych.

Rozprawa jest starannie skonstruowana i logicznie uporządkowana. Autor prezentuje solidny przegląd literatury, uwzględniając najnowsze osiągnięcia w dziedzinie inżynierii strukturalnej, dynamiki pojazdów oraz technologii bezpieczeństwa. Część teoretyczna jest oparta na solidnych podstawach naukowych i dobrze zintegrowana z przedstawionymi wynikami badań.

Metodyka badawcza, stosowana przez autora, zasługuje na uwagę. Zastosowanie zaawansowanych technik analizy eksperymentalnej świadczy o profesjonalizmie oraz zaangażowaniu w uzyskanie wiarygodnych i precyzyjnych wyników. Wyniki te są klarownie przedstawione, a ich interpretacja odzwierciedla głęboką wiedzę autora na temat badanej tematyki.

W szczególności, do oryginalnych osiągnięć Autora należy zaliczyć:

- opracowanie metodyki badawczej statycznego czteropunktowego zginania długiej belki z autorskimi uchwytami zapewniającymi ciągły styk próbki z dociskami,
- opracowanie metodyk badawczych dynamicznego badania kompozytów (ścian grodziowych, struktur dyssypacyjnych) oraz elementów wyposażenia wagonu: okien i drzwi,
- opracowanie autorskich torów pomiarowych raz stanowisk badawczych,
- wyznaczenie istotnych z punktu widzenia walidacji modeli numerycznych takich wielkości jak siła niszcząca, siła uplastyczniająca, przemieszczenie, wytrzymałość rdzenia na ścinanie czy granice plastyczności rdzenia,
- analiza wyników badań doświadczalnych,

Przedstawiony w pracy problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowanie praktyczne. Wszystkie wymienione powyżej zagadnienia i związane z nimi elementy pracy stanowią o jej dużej wartości merytorycznej.

Lektura dysertacji nasuwa jednak pewne komentarze i uwagi krytyczne, częściowo dyskusyjne:

1. Dość niejasno przedstawiono opis autorskiego modelu numerycznego. Autor, szczątkowo wtrąca w rozważaniach takie pojęcia jak: model obliczeniowy lub po prostu model, wskazuje na rysunkach (np. Rys. 208.) lecz nie ma jednoznacznej informacji - definicji jaki to model, czego dotyczy, itp.
2. Autor nie powołał się na swój oraz środowiska z którego się wywodzi dorobek publikacyjny.
3. Czy Autor widzi potrzebę prowadzenia dalszych badań i w jakim kierunku?

Przedstawione uwagi i komentarze zostaną zapewne wyjaśnione, bądź skomentowane w trakcie publicznej obrony.

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, realizację postawionego zadania należy ocenić pozytywnie ze względu na:

- prawidłowe zdefiniowanie przedmiotu badań,
- poprawny sposób prezentacji wyników,
- wykazane przez Autora dobre rozeznanie w wielu dziedzinach wiedzy, w tym umiejętności praktyczne w organizacji badań identyfikacyjnych,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg spostrzeżeń i wyciągnięcie interesujących wniosków w przeszłości,
- wyniki badań doświadczalnych oraz ich analiza, które mogą być przydatne: firmom produkującym pojazdy szynowe, jednostkom normalizacji, zarówno krajowym jak i europejskim.

#### 4. Ocena końcowa

Oceniając przedstawioną rozprawę doktorską należy podkreślić aktualność jej tematyki z punktu widzenia produkcji i eksploatacji wybranej klasy pojazdów szynowych. Recenzowana rozprawa zawiera takie elementy jak: identyfikację doświadczalną wybranych parametrów siła



niszcząca, siła uplastyczniająca, przemieszczenie, wytrzymałość rdzenia na ścinanie czy granice plastyczności rdzenia i ocenę ich wpływu na wytrzymałość - odporność wybranej klasy pojazdów szynowych na eksplozje wewnętrzne, które można uznać za oryginalny wkład w rozwój dyscypliny budowa i eksploatacja a obecnie inżynieria mechaniczna.

Uważam, że opiniowaną pracę Pana mgr inż. Cezarego Borowieckiego cechuje interdyscyplinarne podejście do zagadnień identyfikacji, analizy zjawisk zachodzących podczas eksplozji wewnętrznej w pojeździe szynowym, co stanowi stosowny wkład w zakresie analizy i kształtowania cech konstrukcyjnych, technologicznych, eksploatacyjnych i jakościowych wybranej klasy obiektów technicznych – pojazdów szynowych. Opracowane metodyki-badawcze jak również sposób realizacji badań opisanych w niniejszej dysertacji i analiza wyników badań świadczą o odpowiednim przygotowaniu doktoranta do prowadzenia samodzielnej działalności naukowo-badawczej.

Jednym z najważniejszych atutów rozprawy jest jej interdyscyplinarny charakter. Autor bierze pod uwagę zarówno aspekty konstrukcyjne, jak i te związane z bezpieczeństwem, co ułatwia kompleksowe zrozumienie problemu. Wprowadza również nowatorskie podejście, skoncentrowane na doświadczalnym badaniu elementów konstrukcyjnych, co ma istotne i utylitarne znaczenie w kontekście np. analizy ewentualnych katastrof związanych z eksplozjami wewnętrznymi w pojazdach szynowych.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest wartościowym pod względem merytorycznym opracowaniem naukowym wykazującym znaczący wkład Autora w rozwiązanie rozważanych w niej zagadnień. Wymienione w niniejszej recenzji uwagi oraz zauważone usterki nie zmieniają mojej pozytywnej opinii o pracy.

Warto również zauważyć, że rozprawa bezpośrednio odniesienie do praktycznych implikacji uzyskanych wyników. Wskazanie w zawartych analizach na potencjalne zastosowania praktyczne dodatkowo podnosi wartość pracy, zwłaszcza dla profesjonalistów z branży transportu kolejowego.

Podsumowując, praca mgr. inż. Cezarego Borowieckiego stanowi znaczący wkład w dziedzinę badań odporności konstrukcji pojazdów szynowych na eksplozje wewnętrzne. Jej interdyscyplinarny charakter, poprawna metodyka badawcza oraz klarownie przedstawione wyniki stanowią solidną podstawę dla dalszych badań w tej istotnej dziedzinie inżynierii.

Recenzowana praca spełnia wymogi odnośnie przewodu doktorskiego, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku, z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Biorąc powyższe pod uwagę, wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

