

dr hab. inż. Jacek JANISZEWSKI, prof. WAT
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Mechatroniki Uzbrojenia i Lotnictwa
Instytut Techniki Uzbrojenia
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Warszawa, dn. 09.01.2024 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Cezarego BOROWIECKIEGO
pt.
„Badania odporności elementów konstrukcyjnych pojazdów
na eksplozje wewnętrzne”

wykonana na wniosek Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna”
Politechniki Wrocławskiej
z dnia 30 października 2023 roku

1. Tematyka rozprawy

Problematyka rozprawy jest bezpośrednio związana z kwestią bezpieczeństwa biernego w środkach publicznego transportu kolejowego na wypadek ataku terrorystycznego z użyciem materiałów wybuchowych. Jest to istotny obszar nauk technicznych, nie tylko ze względu na wartość poznaczą odkrywanych zjawisk i mechanizmów, ale także ze względu na kluczowe znaczenie taboru kolejowego dla prawidłowego funkcjonowania społeczeństwa i gospodarki narodowej. Niestety, dotychczasowe przykłady ataków terrorystycznych z użyciem ładunków wybuchowych, szczególnie w pojazdach szynowych metra, dowodzą, że transport szynowy jest podatny na ten rodzaj ataków, które mogą być niezwykle dotkliwe i wywoływać długotrwałe negatywne skutki społeczne i gospodarcze.

W świetle obecnej sytuacji geopolitycznej Polski, a w szczególności w kontekście trwającej wojny w Ukrainie, problematyka rozprawy Pana mgr inż. Cezarego BOROWIECKIEGO jest bardzo aktualna i wychodzi naprzeciw potrzebom związanym ze zwiększaniem bezpieczeństwa państwa, szczególnie w zakresie zwiększania odporności tzw. infrastruktury krytycznej na ataki wrogich organizacji. Tematyka rozprawy jest zatem trafnie wybrana i mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w ramach dyscypliny naukowej budowa i eksploatacja maszyn.

2. Problem badawczy, cel i zakres rozprawy

Doktorant wyraźnie wskazuje jaki problem badawczy rozwiązuje w rozprawie. Dostrzega on bowiem, na podstawie analizy literatury, jak i swoich doświadczeń zawodowych, że w projektowaniu konstrukcji dotychczasowych pojazdów szynowych nie uwzględnia się problemu przeciwdziałania skutkom wybuchu ładunku materiału wybuchowego wewnątrz pojazdu, a także kwestii zapewnienia odpowiedniego poziomu odporności przedziału maszynisty na oddziaływanie fali podmuchowej.

Za cel rozprawy Autor zatem przyjął „...wykazanie, że niewielka zmiana sposobu projektowania poszczególnych elementów wyposażenia wagonu może znacznie ograniczyć efekt eksplozji wewnętrznej w środkach transportu publicznego ...”. Cel rozprawy został sformułowany jasno, posiada cechy celu naukowego o silnym charakterze utylitarnym, spotykanym w rozprawach opracowanych w ramach tzw. doktoratów wdrożeniowych. W mojej ocenie tak sformułowany cel pracy stanowi ambitne i duże wyzwanie badawcze, zwłaszcza, że Doktorant przyjął, że cel zostanie osiągnięty głównie w wyniku realizacji testów wytrzymałościowych takich elementów wyposażenia wagonu szynowego jak: ściana kabiny maszynisty, bocznego okna pasażerskiego oraz systemu bocznych drzwi pasażerskich.

W związku z powyższym celem, Doktorant sformułował tezę pracy, która przedstawia się następująco: „Skutki eksplozji wewnętrznej w środkach transportu publicznego mogą być ograniczone poprzez kształtowanie wytrzymałości wybranych elementów wyposażenia pojazdu”. Z treści krótkiego komentarza do tezy wynika, że Doktorant w rozprawie przedstawi obiektywne dowody naukowe będące efektem analiz literaturowych oraz badań doświadczalnych, dowodzące słuszności postawionej tezy pracy. Generalnie teza pracy jest sformułowana jasno, jednakże w mojej ocenie jest ona zbyt ogólnikowa. Wskazanie już w tezie jakie elementy wyposażenia pojazdu są kluczowe ze względu na osłabienie skutków wybuchu nadałoby tezie jednoznaczności i dokładności.

Aby osiągnąć cel pracy oraz udowodnić tezę rozprawy, Doktorant przedstawił trzypunktowy zakres pracy. W mojej ocenie jest on zbyt skromny. W formie przedstawionej w rozprawie, zakres rozprawy stanowi jedynie skrótowe wymienienie podjętych analiz i badań doświadczalnych. Skromność opisu, sprowadzająca się jedynie do użycia równoważników zdań, sprawia, że możliwe jest tylko pobieżne zapoznanie się z zakresem pracy. Zakres pracy jest czymś więcej niż tylko wypunktowaniem przedsięwzięć podjętych w rozprawie doktorskiej. W „Zakresie” określa się zazwyczaj ramy planowanych badań i przedmiot badań (ten punkt został dobrze przedstawiony w recenzowanej pracy), a także zawiera on skrótowe informacje o metodach i technikach badawczych, które zostały użyte

oraz prezentuje się w nim kryteria oceny otrzymanych rezultatów badań. Treści zawarte w zakresie rozprawy powinny również dostarczać informacji o przyjętej metodzie rozwiązania problemu badawczego, jak i o sposobie udowodnienia tezy pracy. Tak więc, gdyby nie „Streszczenie” zamieszczone na początku recenzowanej rozprawy, wiedzę o zakresie rozprawy można byłoby uzyskać dopiero po przeczytaniu całej pracy. W mojej ocenie jest to pewne uchybienie i stąd wynikają moje ww. uwagi krytyczne.

3. Struktura rozprawy, poprawność językowa i styl pracy

Dysertacja składa się z sześciu rozdziałów głównych o całkowitej liczbie stron wynoszącej 195. Otwiera ją rozdział „Wprowadzenie”, które nie jest typowym wprowadzeniem do samej rozprawy, lecz wprowadzeniem do problematyki pracy i po części wstępem do drugiego rozdziału „Rozpoznanie literaturowe”. Takie podejście może budzić pewne zastrzeżenia, gdyż zazwyczaj spotykane jest inne. Nie oceniam tego podejścia za niewłaściwe, jednakże zasygnalizowanie pewnych treści już we wprowadzeniu do pracy, a których rozwinięcie znajduje się w rozdziale 3 „Teza, zakres i struktura pracy”, byłoby zasadne z punktu widzenia odbioru pracy przez czytelnika.

Rozdział 2 to obszerna analiza literaturowa dotycząca przebiegu i skutków dotychczasowych przeprowadzonych ataków terrorystycznych w środkach kolejowego transportu publicznego, dyrektyw i rozporządzeń regulujących funkcjonowanie systemu kolei w Unii Europejskiej, w szczególności aktów prawnych dotyczących interoperacyjności sektora transportu kolejowego oraz kwestie oceny i zarządzania bezpieczeństwem taboru kolejowego. Jest to stosunkowo obszerna analiza, z powołaniem się na bardzo dużą liczbę różnych dokumentów prawnych. W pierwszym odczuciu, analiza ta może wydawać się zbyt rozbudowana i niemająca bezpośredniego związku z badawczą i naukową stroną pracy. Wartość poznawcza tej analizy, jednakże, wyraża się w dostrzeżeniu przez Autora rozprawy problemu, polegającego na tym, że kwestie zagrożenia terrorystycznego w środkach transportu kolejowego były dotychczas rozpatrywane pobieżnie i konieczne jest podejmowanie nie tylko działań legislacyjnych, ale także technicznych w celu ograniczenia skutków ataków terrorystycznych.

Bardzo ważną częścią analizy literaturowej jest podrozdział 2.5 „Studium przypadku. W tej części rozprawy Doktorant dokonuje wnikliwej analizy zjawisk będących następstwem wybuchu ładunku materiału wybuchowego w wagonie pojazdu szynowego, tj. analizuje on przebieg niszczenia struktury wagonu dla różnych scenariuszy zamachu bombowego, a także

opisuje rodzaje oddziaływań fali podmuchowej na organizm człowieka i wynikających z tego oddziaływania urazów.

Podsumowanie rozdziału 2 zostało zawarte w rozdziale 3, w podpunkcie 3.1. „Motywacja”, którego treść także stanowi uzasadnienie do podjęcia problemu badawczego. W rozdziale 3 przedstawiono także cel i tezę pracy oraz dokonano prezentacji zakresu pracy i struktury rozprawy. Wszystkie te bardzo ważne elementy rozprawy doktorskiej spisano na zaledwie trzech stronach. Jak już wspomniałem wcześniej, cel badawczy i teza pracy zostały sformułowane dobrze, ale takie kwestie, jak: założenia metodyczne, a w tym zastosowane metody i techniki badawcze nie zostały w ogóle przedstawione.

W tym miejscu należy jeszcze odnieść się do umiejscowienia rozdziału 3 w strukturze rozprawy. Treści dotyczące problemu naukowego, celu i zakresu pracy itd. przedstawia się zazwyczaj we wstępie do pracy, na samym początku rozprawy. Doktorant w swojej rozprawie zastosował inne podejście, które współcześnie jest coraz rzadziej stosowane, a które przewiduje przedstawienie problemu naukowego, celu i tezy pracy po rozpoznaniu literaturowym. W mojej ocenie to podejście jest równie właściwe, jak pierwsze, ale tylko wtedy, gdy rozprawa rozpoczyna się od wstępu do pracy, w którym przede wszystkim ogólnie nakreślono przedmiot dociekań naukowych i jego osadzenie w istniejącym dorobku teoretycznym i badawczym dla danej dziedziny nauki i techniki. Wstęp w recenzowanej rozprawie spełnia ten warunek, chociaż forma i obszerność wstępu wzbudza u mnie pewien niedosyt.

Zasadnicze treści pracy Doktorant zgrupował w czterech rozdziałach. Tę część rozprawy rozpoczyna rozdział 4, w którym zawarto opis koncepcji zwiększenia odporności taboru na eksplozję wewnętrzną. Koncepcja ta, która jest oryginalnym osiągnięciem Autora rozprawy, została sformułowana głównie na podstawie rezultatów wnikliwej analizy kilku źródeł literaturowych. Z kolei, rozdział 5 to najbardziej obszerna część rozprawy, w której przedstawiono opis materiałów stosowanych na rdzenie osłon przeciwwybuchowych oraz zaprezentowano wyniki badań wytrzymałościowych quasi-statycznych i dynamicznych. W rozdziale tym dokonano także analizy wyników w celu wyboru materiału rdzenia o najbardziej pożądanym właściwościach fizyko-mechanicznych.

Rozdział 6, natomiast jest bezpośrednio związany z celem i tezą rozprawy, zawiera on bowiem opis i wyniki badań wytrzymałościowych okien i drzwi bocznych pojazdu kolejowego. Rezultaty tych badań stanowią główne źródło danych uzasadniające słuszność zaproponowanej koncepcji podnoszenia bezpieczeństwa biernego taboru kolejowego na

wypadek zamachu bombowego. Z kolei, w ostatnim rozdziale 7, Autor rozprawy dokonuje analizy otrzymanych wyników i odnosi je do aktualnego stanu wiedzy.

Odnosząc się do struktury wypowiedzi w rozdziałach 4-6 należy zaznaczyć, że po lekturze tych rozdziałów w pierwszej kolejności odczuwa się brak podziału treści rozdziału na mniejsze podrozdziały, jednoznacznie wskazujące opis obiektu badań, metodyki badań oraz otrzymane wyniki. Dla przykładu podrozdział 5.1 o objętości 40 stron nie został podzielony na mniejsze podrozdziały, pomimo że zawiera on obszernie informacje na temat: materiałów wytypowanych na rdzenie wygrodzień kabiny maszynisty, wyniki badań mikroskopowych, metodykę badań metodą czteropunktowego zginania wraz z opisem stanowiska badawczego, sposobu przygotowania próbek materiałowych, a także wyniki badań dla dwóch konfiguracji rozstawienia podpór. Wszystkie te treści zestawiono w jednym obszernym podrozdziale, co znacząco utrudnia dotarcie do poszukiwanych informacji na podstawie spisu treści, a także komplikuje samą lekturę pracy. Takie samo podejście Autor zastosował w podrozdziałach 5.2 i 5.3 oraz w rozdziale 6.

Pozytywną okolicznością jest to, że treści zawarte ww. rozdziałach tworzą logiczny ciąg wyводу, czyli prezentowane treści nawiązują do jakiejś myśli przewodniej, a każda poruszana kwestia zazwyczaj wynika z poprzedniej. W strukturze tych głównych rozdziałów można wyodrębnić wprowadzenie, w którym uzasadnia się celowość podjętych badań i analiz, a kończy się podsumowaniem, w którym są przedstawiane wnioski częściowe, stanowiące z kolei przesłankę do podjęcia badań opisywanych w następnym rozdziale.

Pracę zamyka sześciostronicowy rozdział 8 „Podsumowanie, wnioski oraz kierunki dalszych badań”. W rozdziale tym zestawiono głównie najważniejsze wnioski wypływające z analiz literaturowych i otrzymanych rezultatów badań własnych Autora rozprawy.

W warstwie językowej praca jest napisana dobrze. Dostrzeżono wprawdzie pewną liczbę błędów stylistycznych i gramatycznych, ale na ogół nie wpływają one negatywnie na zrozumienie treści pracy. Pod względem poprawności terminologicznej praca spełnia także wymagania. Dostrzeżono pewne uchybienie dotyczące formy prezentacji wyników. Dotyczy ono formy wypowiedzi na stronach od 75 do 91, na których powtórzono dziewięciokrotnie, dokładnie tę samą treść, różniącą się jedynie wartościami parametrów wyznaczonych na podstawie badań doświadczalnych, oraz numerami rysunków lub tabel, w których przedstawiono otrzymane rezultaty. Przyjęta technika redakcji tekstu wprawdzie ujednotacza i porządkuje prezentację wyników badań, jednakże taki styl wypowiedzi nie powinien raczej mieć miejsca w opracowaniu o charakterze rozprawy doktorskiej, gdyż schematyczność

układu treści powtórzonej dziewięciokrotnie pomniejsza wkład twórczy Autora w opracowaniu rozprawy.

Rozprawa obfituje w bardzo dużą liczbę rysunków, aż 209, które stanowią szacunkowo połowę objętości pracy. Strona graficzna rysunków jest na dobrym poziomie. Rysunki i zdjęcia są dobrej jakości, są one zazwyczaj czytelne i dobrze opracowane. Duża liczba rysunków zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia błędów i różnego rodzaju usterek, których niestety w pracy dostrzegłem stosunkowo dużo. Główna uwaga dotyczy podpisów pod rysunkami, które dość często są zbyt skrótowe lub wręcz nieadekwatne do informacji wyrażonych na rysunku. Za przykład podpisów skrótowych mogą posłużyć podpisy pod rysunkami od 139 do 142. We wszystkich tych przypadkach brzmienie podpisu było takie samo, tj. „*Stanowisko badawcze*” i jedyna różnica polegała na dopisku po myślniku: „*schemat*”, „*widok 1*”, „*widok 2*” i „*widok 3*”. W mojej ocenie tak skrótowy podpis jest pewnym uchybieniem edytorskim, gdyż nie informuje w pełni co dany rysunek przedstawia i wymaga poszukiwania informacji w tekście głównym pracy. Dodanie, np. w podpisie rys. 139, informacji, że blok (A) na schemacie przedstawia układ pneumatyczny, (B) układ sterowania, (C) system akwizycji danych pomiarowych oraz (D) układ mocowania próbki materiałowej, zwiększyłoby czytelność i wartość poznawczą pracy.

Z kolei za przykłady podpisów niewłaściwie opisujących informacje zawarte na rysunkach są rys. 148 i 187. W pierwszym przypadku brzmienie podpisu jest „*Pomiary stanowiska – przygotowanie do pomiarów*”, podczas gdy rysunek przedstawia zdjęcie stanowiska badawczego z zaznaczonymi częściami składowymi stanowiska. W drugim przypadku, na rys. 187 przedstawiono krzywe zmiany ciśnienia wewnątrz komory testowej w funkcji czasu dla początkowej fazy dynamicznego obciążenia okna bocznego, tj. do 40 milisekundy. Rysunek ten, natomiast został opatrzony tylko lakonicznym podpisem „*Testy dynamiczne okien – pierwsze 40 ms*”.

Ponadto, zgłaszam także zastrzeżenia w związku z dość częstym niestosowaniem na zdjęciach wskaźników (strzałki z opisem lub wskaźniki numeryczne) informujących np. o podzespołach składowych i szczegółach konstrukcyjnych prezentowanych układów badawczych. W większości przypadków takie oznaczenia na rysunkach zostały użyte, ale jest pewna liczba rysunków, stosunkowo liczna, że takich oznaczeń brakuje. Jednym z przykładów niestosowania ww. wskaźników mogą być rysunki 106 i 107 prezentujące stanowisko badawcze testu czteropunktowego zginania. Na rysunkach przedstawiono widoki wielu elementów stanowiska, szczególnie na rys. 106, których nazwy i przeznaczenie trudne

są do zidentyfikowania dla czytelnika niezaznajomionego wcześniej z tą techniką badawczą (np. gdzie znajdują się laserowy czujnik przemieszczenia?).

Podsumowując ocenę struktury pracy i jej stylu stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymagania stawiane opracowaniom naukowym, pomimo zgłoszonych wyżej uwag. Recenzowana rozprawa jest dość dobrze uporządkowanym wywodem, pozwalającym na prześledzenie całej drogi od określenia problemu naukowego do sformułowania wniosków końcowych.

4. Szczegółowa ocena merytoryczna rozprawy

4.1. Wybór źródeł literaturowych i ich analiza

W rozprawie przywołano 102 pozycje literaturowe, i jest to wystarczająca liczba, aby nakreślić stan aktualnej wiedzy w przedmiotowej dziedzinie nauki i techniki. Generalnie, pod względem tematycznym, literatura została poprawnie dobrana, a dokonana na 19 stronach analiza literaturowa, która była jeszcze pogłębiona w rozdziale 4, dobrze omawia kwestie istotne dla zdefiniowania problemu naukowego rozprawy. Ponadto, treści zawarte w przeglądzie literaturowym są interesujące i dostarczają wielu cennych informacji w przystępnej formie (duża liczba rysunków i zdjęć). Stosunkowo duża część przywołanej literatury, około jedna trzecia, to dyrektywy, rozporządzenia i dokumenty normatywne. Nie są one bezpośrednio związane z problemem naukowym rozprawy, i w pierwszym odczuciu wydaje się, że Autor rozprawy poświęcił zbyt dużo uwagi kwestiom prawnym regulującym system funkcjonowania i bezpieczeństwa taboru kolejowego w Polsce i Europie. Pogłębiona lektura rozprawy pozwala jednak docenić trud, wartość i znaczenie analizy ww. aktów prawnych dla osiągnięcia celu pracy i udowodnienia tezy pracy. Analiza ta wskazuje bowiem jak dobrze osadzona jest problematyka pracy we współczesnych realiach funkcjonowania kolejnictwa europejskiego, a także dowodzi, że zaproponowane nowe podejście do projektowania elementów wyposażenia wagonów nie stoi w sprzeczności z obecnie obowiązującymi przepisami.

Wysoko oceniam także studium przypadków zamachów terrorystycznych oraz analizę źródeł literaturowych, w których podejmuje się różne zagadnienia związane z wybuchem wewnątrz wagonu. Autor rozprawy bardzo wnikliwie przeanalizował dostępne materiały literaturowe, dokonując poprawnej ich interpretacji oraz formułując wiele wartościowych wniosków.

Oczywiście, każda analiza literaturowa, nawet ta bardzo wnikliwa, może wzbudzać pewien niedosyt lub być oceniona krytycznie z powodu niepowołania jakiejś pozycji

literaturowej lub nieomówienia jakiegoś zagadnienia. Dotyczy to szczególnie prac naukowych o charakterze multidyscyplinarnym, których literatura jest tak bardzo bogata, że nawet współcześnie, z wykorzystaniem różnych narzędzi informatycznych, trudno z nią się w pełni zapoznać. Z mojego punktu widzenia, tj. osoby zajmującej się badaniem materiałów konstrukcyjnych w warunkach dynamicznego obciążenia niedosyt wzbudza pominięcie kwestii mechanicznego zachowania się materiałów konstrukcyjnych, zwłaszcza o strukturze komórkowej w warunkach dynamicznego odkształcenia. Jest to nawiązanie do badań doświadczalnych przedstawionych w rozdziale 5. Niedosyt ten również wynika z braku wzmianki o najczęściej stosowanych metodach badań dynamicznej reakcji mechanicznej materiałów energochłonnych takich, jak np. technika młota spadowego czy test Hopkinsona lub/i Taylora.

Na zakończenie oceny wyboru źródeł literaturowych, uwagi krytyczne kieruję także pod adresem samego wykazu pozycji literaturowych. Aż w 22 przypadkach stwierdzam, że wskazane pozycje literaturowe nie zawierają pełnych danych jednoznacznie identyfikujące źródło pochodzenia danego artykułu czy książki. Najczęściej występującą usterką jest brak nazwy wydawnictwa lub nazwy czasopisma, a także występują proste błędy edytorskie, jak np. brak polskich znaków. Najwięcej tego typu usterek występuje na stronie 194, które to usterki traktuję za dość znaczące uchybienie.

4.2. Rozwiązanie problemu naukowego i realizacja celu pracy

Jak wspomniano wcześniej, Autor rozprawy dostrzegł problem naukowy wynikający z tradycyjnego podejścia do projektowania konstrukcji wagonów, które nie uwzględnia ewentualności wybuchu ładunku materiału wybuchowego wewnątrz pojazdu. W związku z tym, celem pracy było wykazanie, że zastosowanie nawet niewielkich modyfikacji projektowych niektórych elementów składowych wagonu „...może znacznie ograniczyć efekt eksplozji wewnętrznej w środkach transportu publicznego” (cytat zaczerpnięty z tezy pracy).

Czy zatem cel rozprawy został zrealizowany? Uważam, że tak, gdyż Autor rozprawy nie tylko przedstawił dowody zaczerpnięte z analizy literaturowej, ale także wykonał szereg oryginalnych badań eksperymentalnych, których wyniki dobrze ilustrują wpływ modyfikacji projektowych na mechaniczne zachowanie ściany kabiny maszynisty, bocznego okna pasażerskiego oraz systemu bocznych drzwi pasażerskich.

Czy w związku powyższym teza pracy została udowodniona, a sformułowany problem badawczy rozwiązany? W mojej ocenie tak. Doktorant opracowując oryginalne układy badawcze i przeprowadzając badania doświadczalne nad zachowaniem mechanicznym panelu

ściany kabiny maszynisty, okien i drzwi bocznych wagonu w warunkach dynamicznych dostarczył wiarygodne dowody, że „Skutki eksplozji wewnętrznej ... mogą być ograniczone poprzez kształtowanie wytrzymałości wybranych elementów wyposażenia pojazdu” kolejowego. Wprawdzie pewne wątpliwości związane z udowodnieniem tezy pracy może wzbudzać fakt, że Autor rozprawy dowodzi tezę pracy bez wykonania testów modelowych z użyciem ładunków wybuchowych. Oczywiście, wskazane byłoby, żeby teza pracy została potwierdzona przez eksperymenty w warunkach wybuchu. Z powodu, jednakże złożoności takich eksperymentów i przewidywanych ogromnych nakładów finansowych na ich przeprowadzenie można założyć, że nie stanie się to ani w bliskiej przyszłości, ani w dalszej perspektywie czasowej. Dlatego doceniam wkład Doktoranta, który przygotował i wykonał testy dynamiczne, które w jakimś stopniu odzwierciedlają warunki obciążenia wybuchem, i co ważne wypełniają lukę doświadczalną pomiędzy testami quasi-statycznymi a testami wybuchowymi elementów wyposażenia pojazdów szynowych.

4.3. Prezentacja wyników rozprawy, ich analiza i interpretacja

W rozprawie przedstawiono bardzo dużo wyników analiz literaturowych, a w szczególności badań doświadczalnych. Najczęściej przyjmowaną formą prezentacji wyników są wykresy. Rezultaty pracy przedstawiono także w 36 tabelach oraz na zdjęciach, które w rozprawie występują obficie, dobrze dokumentując efekty zrealizowanych prac. Na ogół wyniki są prezentowane w sposób poprawny, jednakże zdarzają się niekiedy różnego rodzaju błędy lub braki. Na przykład, podpisy rys. 55 i 57 powinny zawierać przypisy literaturowe na podstawie których opracowano zestawienie. Ponadto, na rysunkach tych powtarzają się w większości te same dane. Czy nie wystarczyło ograniczyć się do zestawienia zaprezentowanego na rys 57? Z kolei na rys. 56 brak jest wskaźnika skali na zdjęciu makroskopowym aglomeratu korkowego. Za błędnie opracowany wykres uważam także rys. 203, w podpisie którego mówi się o sile niszczącej, podczas gdy na wykresie zestawiono wartości ciśnienia.

Ponadto, w niektórych przypadkach badań doświadczalnych trudno doszukać się informacji o liczności próbek użytej w badania danego wariantu materiałowego. Na przykład, w rozdziale poświęconym wstępnym badaniom materiałów rdzeni wygrodenia kabiny maszynisty, dopiero na podstawie liczności prezentowanych wyników, tj. liczby krzywych i liczby zestawów danych w tabelach, można było stwierdzić, na jak licznej próbce wykonano testy wytrzymałościowe.

W tym miejscu chciałbym zgłosić jeszcze jedną uwagę dotyczącą liczności próbek wytrzymałościowych. Autor rozprawy bardzo często zaznacza, że badania czteropunktowego zginania wykonywał zgodnie z normami przywoływanymi w pracy. We wszystkich tych normach stwierdza się, że liczność próbek powinna być co najmniej 5. W przypadku niektórych wariantów materiałowych, liczba próbek była mniejsza niż 5, szczególnie w przypadku wstępnych testów wytrzymałościowych. Mniejszą licznosc próbek nie uważam za bardzo duże uchybienie, zwłaszcza w świetle poniesionych kosztów na przygotowania próbek i całkowitej liczby próbek przebadanych przez Doktoranta liczonych w dziesiątkach (np. tylko testy zasadnicze materiałów rdzeni przeprowadzono aż na 54 próbkach). Jednakże, fakt o odstępnie od normy powinien być w pracy wyraźnie zaznaczony.

Kończąc wątek braków i uchybień w prezentacji wyników prac badawczych chciałbym zgłosić zastrzeżenie dotyczące prezentacji wyników zamieszczonych w tabelach nr 18, 20, 22, aż do tabeli nr 34. Nie potrafiłem określić na podstawie lektury tego rozdziału pracy, czy podane w tych tabelach wartości parametrów są średnią z otrzymanych wyników, czy np. maksymalnymi.

Jak na poprawnie opracowaną rozprawę doktorską przystało, wszystkie zaprezentowane w pracy wyniki analiz i badań doświadczalnych są poddawane analizie a następnie ich interpretacji. Jest to bardzo ważny element pracy doktorskiej, głównie ze względu na ocenę umiejętności Autora rozprawy w zakresie posiadania umiejętności do samodzielnej interpretacji wyników i wyciągania uogólnionych wniosków, a także do krytycyzmu w stosunku do osiągnięć swoich poprzedników, jak i własnych wyników badań. Dobrze oceniam umiejętności Doktoranta w tym zakresie. Przeprowadzone dyskusje nad wynikami są dobrze wykonane, często z próbami dogłębnego przeanalizowania danej kwestii, a dokonane interpretacje i sformułowane wnioski są – poza nielicznymi przypadkami - trafne i znajdują potwierdzenie w otrzymanych rezultatach.

Oczywiście, jak na tak obszerną pracę dostrzegłem w niej pewne niedociągnięcia w przeprowadzonej analizie i interpretacji wyników. Niedociągnięcia te wynikają zazwyczaj ze zbyt małej precyzji wypowiedzi, która jest niekiedy skrótem myślowym. Na przykład w zdaniu na stronie 142, w 3 akapicie stwierdza się, że „... *Próbka A4_T1_20X jest znacznie gładziej od pozostałych...*”, ale jakiej części próbki to dotyczy, czy obydwóch powierzchni okładzin, czy tylko np. zewnętrznej i czy to stwierdzenie dotyczy też powierzchni rdzenia? Podobnie, użycie sformułowania „...*najlepszych próbek...*” w zdaniu na stronie 121 i w podpisach rys. 133 i 134 jest mało precyzyjne i pozostaje to w sferze domysłów, zwłaszcza, że nie zdefiniowano w pracy, co oznacza termin „najlepsza próbka”. Dostrzegłem także kilka

nielicznych przypadków, kiedy nie podjęto próby interpretacji analizowanych wyników. Za przykład chciałbym podać ostatnie zdanie na stronie 142, w którym stwierdza się, że „...obciążenie niszczące kompozyt A4_T2_38 jest około 1,85 razy wyższe od obciążenia niszczącego kompozyt A4_T1_20, w przypadku badań dynamicznych i około 1,75 razy wyższe w przypadku statycznego zginania czteropunktowego”. Jest to moim zdaniem interesująca obserwacja z punktu widzenia zarówno poznawczego, jak i inżynierskiego, która zasługuje na wyjaśnienie tej zaobserwowanej odmienności mechanicznego zachowania się badanego kompozytu w warunkach statycznych i dynamicznych.

4.4. Słabe strony rozprawy

Praca pod względem merytorycznym stoi na dobrym poziomie. Generalnie, bazuje ona na faktach, jest rzeczowa i konkretna. Te walory pracy są, jednakże umniejszane przez przyjętą formę i strukturę pracy (uwagi krytyczne - patrz rozdział 3 niniejszej recenzji), błędy edytorskie, skrótowość niektórych opisów, i niekiedy, brak dostatecznej precyzji wypowiedzi. Wszystko to sprawia, że praca jest czasami trudna w odbiorze i wymaga niekiedy dużego wysiłku, aby dobrze zrozumieć zawarte w niej treści. Ponadto, ww. niedociągnięcia rodzą wątpliwości i pytania, które, te zasadnicze, przedstawiają się następująco:

1. Dlaczego uznano, że metoda czteropunktowego zginania w warunkach quasi-statycznego obciążenia będzie miarodajną techniką do wyboru materiału rdzenia kompozytu warstwowego, skoro przewiduje się jego zastosowanie na barierę osłabiającą oddziaływanie fali podmuchowej? Typowe podejście w przypadku badania materiałów energochłonnych, obserwowane w literaturze to stosowanie takich technik badawczych jak: młot spadowy, technika dzielonego pręta Hopkinsona, w szczególności jedna z jej odmian, tj. technika bezpośredniego uderzenia (*ang. Direct Impact Hopkinson Pressure Bar technique*), czy technika uderzeniowego testu Taylora.
2. W jakim stopniu stanowisko do badań dynamicznych wygradzeń i okien bocznych odwzorowuje warunki obciążenia impulsem ciśnienia fali podmuchowej? Jakie są zasadnicze różnice i podobieństwa pomiędzy warunkami obciążenia osiągniętymi w warunkach laboratoryjnych a warunkami pochodzącymi od wybuchu?
3. Która część rozprawy dostarcza dowodów na poparcie 4 wniosku, w części „Dodatkowe wnioski”, zamieszczone na stronie 182?
4. W rozdziale poświęconym badaniom dynamicznym kompozytów warstwowych prezentuje się wartości ciśnienia i czasu, przy których występowało uszkodzenie próbek, tj. rozszczelnienie komory ciśnieniowej. Czy uszkodzenie próbek rozumiane

jest w rozprawie jako naruszenie spójności materiału rdzenia i okładzin w części roboczej próbki, czy w części chwytowej próbki, czy też wysunięcie się próbki z mocowania?

5. Zastosowanie kamery do rejestracji zjawisk dynamicznych pozwala nie tylko na jakościową analizę przebiegu danego procesu szybkozmiennego, ale także na analizę ilościową. Dlaczego więc nie podjęto prób pomiaru dynamicznego ugięcia próbki kompozytu warstwowego lub okna bocznego na podstawie rejestracji optycznych z zastosowaniem tzw. kamery szybkiej?

Na zakończenie krytycznych uwag do recenzowanej pracy chciałbym zwrócić uwagę na oczywistość niektórych sformułowanych wniosków końcowych. Uwaga ta dotyczy głównie wniosków 6 i 7, w których stwierdza się, że „...zwiększenie wytrzymałości ściany kabiny maszynisty może ochronić maszynistę.” lub „...znajdujące się w kabinie systemy oraz urządzenia przed skutkami eksplozji wewnętrznej”. W mojej opinii jest to oczywisty wniosek, który można sformułować bez wykonywania tak złożonych testów wytrzymałościowych. Bardziej cenny z poznawczego punktu widzenia byłby wniosek, w którym zawarto by informacje o np. przybliżonym stopniu osłabienia fali podmuchowej wywołanym wzrostem wytrzymałości ściany maszynisty. W tym miejscu jeszcze jedna uwaga. Uważam, że w kontekście rozpatrywanych w pracy zagadnień, zamiast sformułowania „zwiększenie wytrzymałości ściany” bardziej poprawnym byłby termin „zwiększenie energochłonności ściany”, jako bardziej precyzyjny i lepiej wyrażający funkcję takiej ściany.

4.5. Oryginalność i dobre strony rozprawy

Mocną stroną pracy, obok wyboru tematyki pracy, są walory poznawcze zarówno w zakresie zastosowanych technik badawczych, często unikatowych, jak i otrzymanych wyników badań doświadczalnych. We wszystkich przypadkach badań, ich przeprowadzenie wymagało, na przykład, modyfikacji istniejącego stanowiska w celu dostosowania go do testów próbek materiałowych lub opracowania nowego układu badawczego, tj. jego zaprojektowania i wykonania, a następnie przeprowadzenia testów sprawdzających. Podkreślenia wymaga to, że są to oryginalne stanowiska badawcze, które, jak przypuszczam, są jedyne tego typu w kraju. Osiągnięcia te świadczą o inwencji twórczej Doktoranta oraz szerokiej jego wiedzy technicznej i wysokich umiejętnościach praktycznych.

Doktorant zastosował także oryginalne metodyki badań, zgodnie z którymi przeprowadził eksperymenty na bardzo dużych (1200 x 1200 mm) próbkach struktur energochłonnych,

reprezentujące wygodzenie kabiny maszynisty lub na rzeczywistych konstrukcjach okien i drzwi bocznych.

Jako eksperymentator, który wykonuje wiele prac doświadczalnych z zastosowaniem nietypowych technik badawczych, bardzo wysoko oceniam zakres przeprowadzonych testów oraz trud poniesiony na ich przygotowanie i przeprowadzenie. Złożoność tych eksperymentów oraz konieczność stosowania różnorodnej aparatury pomiarowej wymagała od Doktoranta poświęcenia bardzo dużo czasu, nie tylko na poznanie danej aparatury lub techniki, ale i na nabycie praktycznych umiejętności w posługiwaniu się nimi.

Na uznanie zasługuje również wykonana analiza literaturowa i sformułowane na jej podstawie wnioski. Na podstawie lektury pracy można nabyć przekonania, że wiedza Autora rozprawy w przedmiotowym zakresie jest nie tylko pogłębiona teoretycznie, ale także wynika z własnych doświadczeń zawodowych. Stąd, co bardzo doceniam, widoczny jest silny związek tematyki pracy z realiami funkcjonowania transportu kolejowego, a proponowane koncepcje czy rozwiązania uwzględniają szereg ograniczeń, nie tylko technicznych, ale także prawnych.

Za bardzo wartościową uznaję koncepcję nowego podejścia do projektowania wagonów, która początkowo może wydawać się kontrowersyjna w zakresie projektowania okien i drzwi bocznych, a która zakłada świadome osłabienie mechaniczne tych elementów wyposażenia wagonu w celu zwiększenia stopnia dyssypacji fali podmuchowej propagującej się wewnątrz pojazdu szynowego. Doktorant dostarczył wielu dowodów literaturowych, jak i doświadczalnych, że koncepcja ta jest nie tylko słuszna, ale także nie narusza obecnie obowiązujących wymagań i przepisów krajowych i europejskich.

5. Ocena końcowa pracy doktorskiej

Pan mgr inż. Cezary BOROWIECKI jest autorem rozprawy doktorskiej, która wnosi znaczący wkład w poszerzenie wiedzy w zakresie bezpieczeństwa biernego w środkach transportu kolejowego w kontekście minimalizacji skutków ataków terrorystycznych z użyciem materiałów wybuchowych. Recenzowaną rozprawę cechuje aktualność podjętej tematyki oraz oryginalność zastosowanych technik badawczych i otrzymanych wyników badań literaturowych i doświadczalnych. Rozprawa została napisana poprawnie, z nielicznymi tylko niedociągnięciami.

Mając zatem na względzie wyżej przedstawione komentarze, oceny i uwagi krytyczne stwierdzam, że **recenzowana rozprawa spełnia wymagania** ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku i wnioskuję o **jej dopuszczenie do obrony publicznej**.


Jacek JANISZEWSKI