

Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie
Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej
Katedra Automatyki i Informatyki

dr hab. inż. Janusz Goldasz, prof. PK

Kraków, 27-09-2021

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Juzunia
pt.

“Wybrane wytyczne dotyczące projektowania osłon podwozi pojazdów szynowych”

Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Wojciech Cholewa

Promotor pomocniczy: dr inż. Mariusz Pawlak

Podstawa prawna oceny:

Pismo nr RD(IME)-99/006/2020/2021 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, z dnia 14 lipca 2021 r.

1. CEL I ZAKRES ROZPRAWY

W Rozdziale 5.3 Doktorant sformułował główną tezę pracy:

- Zakres uszkodzeń kompozytowych osłon podwozi szybkobieżnych osłon pojazdów szynowych, wywołanych uderzeniami kamieni podrywanych z torowiska, zależy między innymi od:
 - anizotropii własności materiału osłony,
 - własności tłumiących osłony,
 - współczynnika tarcia powierzchni zewnętrznej osłony.

Dodatkowo, w Rozdziale 5.4 Autor wymienił następujące zaplanowane zadania badawcze:

- **Zadanie 1:** Projekt i wykonanie stanowisk badawczych w celu przeprowadzenia badań doświadczalnych dot. wyznaczenia współczynnika restytucji przygotowanych próbek oraz pomiaru ich odporności na uderzenie
- **Zadanie 2:** Przygotowanie serii próbek kompozytowych do testów laboratoryjnych
- **Zadanie 3:** Przeprowadzenie: badań laboratoryjnych, weryfikacji powstałych uszkodzeń oraz analizy wyników
- **Zadanie 4:** Przedstawienie uzyskanych wyników w formie wniosków
- **Zadanie 5:** Opracowanie modelu numerycznego do symulacji uderzeń kamieni o próbkę i jego weryfikacja
- **Zadanie 6:** Przeprowadzenie parametrycznej analizy numerycznej z użyciem modelu zweryfikowanego w Zadaniu 5

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 7.10.2021

nr 6/RD/IME/ zał. 006/2020/21

- **Zadanie 7:** Sformułowanie wniosków końcowych oraz wytycznych.

Ogólnie, zadanie badawcze podjęte przez Doktoranta dotyczy problematyki projektowania osłon podwozi pojazdów szynowych. Autor postanowił dokonać obszernej analizy zjawiska uderzeń kamieni podrywanych z torowiska w osłony podwozi wykonane z materiałów kompozytowych, zidentyfikować kluczowe czynniki mające wpływ na odporność osłony i, w rezultacie swoich badań, opracować wytyczne dla konstruktorów zajmujących się projektowaniem tego typu osłon celem zwiększenia ich odporności na uderzenia. W tym celu zamierzał m.in. przeprowadzić badania laboratoryjne z użyciem zaprojektowanych przez siebie stanowisk, opracować model numeryczny w/w zjawiska i przeprowadzić analizę parametryczną z jego użyciem celem określenia zmiennych mających wpływ na odporność osłony.

Podjęte przez Doktoranta zadanie badawcze ma charakter aplikacyjny i interesujący z punktu widzenia odbiorcy (producenta osłon). Badania laboratoryjne z użyciem przygotowanych próbek kompozytowych są kosztowne; wymagają spreparowania reprezentatywnej liczby próbek i przeprowadzenia określonej liczby testów i analiz. Wykorzystanie symulacji numerycznych w procesie rozwoju produktu pozwoli w rezultacie zredukować ich liczbę (z użyciem próbek), skrócić czas rozwoju produktu oraz znacząco zmniejszyć koszty.

2. ANALIZA ZAWARTOŚCI ROZPRAWY I SPOSÓB JEJ MERYTORYCZNEGO PRZEDSTAWIENIA

Wyniki badań Doktoranta zostały udokumentowane na 102 stronach rozprawy zawierającej: streszczenia w j. polskim i angielskim, spis rysunków, spis tabel, 11 rozdziałów, spis literatury zawierający 97 pozycji. W spisie literatury znalazły się 3 prace (współautorskie) Autora, w tym 1 praca konferencyjna oraz 1 opublikowane w czasopiśmie z listy MNiSW i 1 raport.

Rozdział 1 (wstęp) zawiera krótkie (jednostronnicowe) omówienie istoty problemu badawczego oraz przedstawienie motywacji, które skłoniły Autora do jego podjęcia i rozwiązania.

W **Rozdziale 2** (Ochrona podwozi pojazdów szynowych) Autor przedstawia wytyczne dotyczące projektowania osłon kompozytowych i analizuje przyczyny uszkodzeń na podwoziu pojazdu szynowego. Rozdział 2 zawiera próbę zrozumienia i analizy mechaniki zjawiska podrywania kamieni z podtorza oraz analizę czynników wpływających na ryzyko uszkodzenia osłony. W Rozdziale 2.4 podjęta jest próba analizy uszkodzeń rzeczywistej osłony kompozytowej m.in. z użyciem mikroskopu elektronowego, na podstawie której Autor dokonał klasyfikacji uszkodzeń na 2 grupy (regularne, nieregularne – incydentalne). Autor podkreśla, iż w rozprawie badane są wyłącznie uszkodzenia typu 1.

Rozdział 3 jest poświęcony opisowi materiałów kompozytowych. Autor klasyfikuje materiały kompozytowe, m.in. względem kryteriów przeznaczenia, na laminaty i kompozyty przekładkowe, których budowę szczegółowo analizuje w Rozdziałach 3.2 i 3.3.

Następnie, w **Rozdziale 4** Autor opisuje procesy degradacji kompozytów polimerowych oraz uszkodzenia struktury kompozytów. W kontekście przedstawionego problemu badawczego istotna jest klasyfikacja uszkodzeń z uwzględnieniem energii uszkodzenia. Istotne, zwłaszcza w aspekcie podjętego problemu badawczego jest omówienie przez Autora uszkodzeń powierzchni kompozytów oraz metod ich badania w Rozdziale 4.1, a w Rozdziale 4.2 kryteriów zniszczeń kompozytów, gdzie rozpatrywana jest wytrzymałość mechaniczna materiałów kompozytowych. Autor podkreśla konieczność wykonania dodatkowych testów wytrzymałościowych oraz skrótowo przedstawia

najpopularniejsze hipotezy wytrzymałościowe we wspomnianym obszarze (kryterium maksymalnych naprężeń i odkształceń, kryterium Tsai-Hilla, kryterium Tsai-Wu). Następnie, w **Rozdziale 5** Autor podejmuje się uzasadnienie podjęcia tematyki badawczej. Wskazuje na luki w dostępnej literaturze dot. omawianego zjawiska i badań prowadzonych w aspekcie uderzeń innych niż prostopadłe do powierzchni kompozytu, co jego zdaniem, jest niewystarczające do sformułowania odpowiednich założeń projektowo-konstrukcyjnych dla konstruktorów osłon. Definiuje przedmiot i cele badań oraz formułuje główną tezę pracy oraz zadania badawcze.

Materiał zawarty w **Rozdziale 6** poświęcony jest przedstawieniu opracowanego modelu niszczenia osłony. Treść zawarta w tym Rozdziale jest nawiązaniem do Rozdziału 2, gdzie opisano samo zjawisko podrywania kamieni z podtorza. Autor definiuje tu kluczowe czynniki wpływające na wielkość uszkodzenia: zdolności tłumiące próbki, współczynnik tarcia pomiędzy przedmiotem uderzającym a próbka oraz kierunek anizotropii materiału. Istotnym elementem tego rozdziału jest makroskopowy model fenomenologiczny procesu uderzenia.

Rozdział 7 zawiera omówienie metod eksperymentalnych i numerycznych stosowanych w omawianej pracy służących rozwiązaniu w/w problemu badawczego. W szczególności, w Rozdziale 7.1. opisana jest metoda wyznaczania współczynnika restytucji oraz stanowisko badawcze służące jego wyznaczaniu. W Rozdziale 7.2 analizowana jest z kolei metoda pomiaru odporności na uderzenia. Przyjęta przez Autora metoda została zaadoptowana do wymagań niniejszej pracy ze standardu nr NF F07-101 „Railway applications – Simulation shock test ballast projection”. Autor opisuje modyfikacje kształtu elementu uderzającego oraz modyfikacje kąta uderzenia i stanowisko badawcze do weryfikacji odporności na uderzenia impulsowe. Istotne, zwłaszcza w kontekście przedstawionych w późniejszych rozdziałach wyników obliczeń numerycznych, są rozważania Autora nt. metody elementów skończonych (MES) i jej zastosowanie do rozwiązania podjętego problemu badawczego. Przyjęty przez Autora model do analizy skutków uderzeń jest modelem makro, w którym każda warstwa kompozytu jest odpowiednio ukierunkowana. Rozważania te kończy opis czynników mających wpływ na symulacje uderzenia pocisku w próbkę kompozytową, które to Autor stosuje w dalszej części badań.

Przebieg badań laboratoryjnych oraz otrzymane wyniki opisane są w **Rozdziale 8**, gdzie Autor wymienia kolejno czynniki podlegające weryfikacji podczas przeprowadzanych badań laboratoryjnych, opisuje sposób wytworzenia i przygotowania próbek kompozytu do badań polegających kolejno na wyznaczaniu: współczynnika restytucji, odporności próbek na uderzenia, współczynnika tarcia, współczynnika tłumienia. Dodatkowo, badany był wpływ kierunku włókien na otrzymane wyniki. Każdą serię badań uzupełnia analiza statystyczna wyników z dokumentacją graficzną. Materiał zawarty w Rozdziale 8 uzupełniają konkluzje Autora dot. otrzymanych wyników.

Rozdział 9, moim zdaniem, jest jednym z najważniejszych elementów pracy Doktoranta. We wspomnianym Rozdziale zawarte są wyniki obliczeń numerycznych (symulacje uderzeń) z użyciem programu LS-Dyna. Ponadto Autor opisuje tu przygotowanie modelu, sposób przygotowania eksperymentu numerycznego, użycie warunków brzegowych, wybór typu kontaktu oraz modelu tarcia, wybór modeli materiałowych oraz ich przypisanie do określonych warstw. Materiał przedstawiony w tym Rozdziale uzupełnia opis strojenia modelu MES celem uzyskania optymalnej zgodności z wynikami badań z Rozdziału 8.

Rozdział 10 natomiast poświęca Doktorant omówieniu wyników numerycznych uzyskanych przy innych warunkach brzegowych i parametrach wejściowych niż w poprzednich rozdziałach. Jest to

przykład adaptacji opracowanego modelu do szerszego programu badań osłon kompozytowych.

W **Rozdziale 11** zawarte jest podsumowanie przeprowadzonych prac oraz omówienie kierunku dalszych badań.

3. OCENA MERYTORYCZNA

W świetle przedstawionych wyników badań laboratoryjnych i obliczeń numerycznych ujętych zwłaszcza w Rozdziałach od 8 do 10 główną tezę pracy można uznać za potwierdzoną i zawierającą elementy nowości.

Doktorant opracował, moim zdaniem, poprawny i aktualny przegląd obecnego stanu wiedzy, o czym świadczy spora liczba pozycji literaturowych z ostatnich 10 lat. Autor poświęca dużo uwagi analizie otoczenia oraz uszkodzeń osłon pojazdów szynowych i wyodrębnieniu czynników mających na nie wpływ. Stara się też zrozumieć mechanikę zjawiska, czemu ma m.in. służyć zaproponowany model fenomenologiczny procesu uderzenia (Rozdział 6).

Co więcej, Autor zaprojektował i zbudował stanowiska laboratoryjne, przy pomocy których wyznaczył kolejno: współczynnik restytucji, odporność próbek na uderzenia, współczynnik tarcia, współczynnik tłumienia. Wykorzystując autorskie stanowisko laboratoryjne, przeprowadził obszerne badania uszkodzeń osłon. Za bardzo cenne uważam fakt, iż badania Doktoranta nie ograniczyły się do badań laboratoryjnych i są one wsparte symulacjami numerycznymi. Doktorant bowiem stworzył w środowisku LS-Dyna wirtualny model MES stanowiska i zweryfikował go w oparciu o uzyskane dane z badań laboratoryjnych. Z użyciem tego modelu zrealizował obszerne symulacje numeryczne w/w procesie uderzenia w osłonę i proponował szereg wniosków dotyczących projektowania osłon podwozi w pojazdach szynowych.

Podsumowując, uważam, iż treść rozprawy ma istotny walor poznawczy i może dostarczyć wielu informacji w zakresie projektowania osłon dla pojazdów szynowych i nie tylko. Walor poznawczy pracy podnosi zawarcie w nim wyników badań laboratoryjnych i symulacyjnych uderzeniowych z użyciem oprogramowania LS-Dyna do analizy zjawisk szybkozmiennych. Sformułowane przez Autora w podsumowaniu wnioski mogą zatem stanowić podstawę do opracowania szeregu wytycznych dot. konstruowania tego typu osłon przez potencjalnego odbiorcę komercyjnego. Autor zresztą podejmuje taką próbę w podsumowaniu (Rozdział 11). Należy tu też podkreślić, iż tego typu badania z użyciem odpowiednio spreparowanych próbek są z reguły kosztowne. W rezultacie, wykorzystanie zweryfikowanego modelu numerycznego do oceny odporności na uderzenia próbki kompozytu, będącego podstawą do sformułowania zawartych w pracy wytycznych może przynieść potencjalnemu odbiorcy komercyjnemu (przemysłowemu) określone korzyści finansowe i czasowe poprzez skrócenie procesu rozwoju produktu i redukcję kosztów.

Ogólnie, dobór typu i charakteru badań laboratoryjnych, symulacji numerycznych, sposób przeprowadzenia przez Autora analizy otrzymanych wyników i ich interpretacja oraz struktura pracy nie budzą zastrzeżeń jako całość. Uwagi merytoryczne zawarte są w Rozdziale 4.2 niniejszej recenzji.

4. UWAGI

Moje uwagi podzieliłem na dwie zasadnicze grupy: uwagi redakcyjne oraz uwagi merytoryczne.

4.1. Uwagi redakcyjne

Rozprawa została zredagowana przez Doktoranta starannie. Wykresy i ilustracje są wykonane czytelnie, aczkolwiek złożone inną czcionką niż tekst. Fotografie są czytelne.

Brakuje, moim zdaniem, częściowego podsumowania umieszczonego na końcu każdego rozdziału, co jest przydatne przy tego typu złożonych opracowaniach.

W części pozycji literaturowych wymienionych w spisie literatury brakuje pełnej informacji bibliograficznej – np. [56], [60], [72], [78].

Błędem jest użycie kursywy do formatowania jednostek jak np. w Tabeli 6.

4.2. Uwagi merytoryczne

Podczas lektury rozprawy nasunęły mi się wymienione niżej uwagi o charakterze merytorycznym:

- W opisie stanowisko pomiarowych i przebiegu doświadczeń brakuje informacji dot. częstotliwości próbkowania, rozdzielczości sprzętu pomiarowo-sterującego, co nie pozwala w pełni ocenić jakości zebranych danych pomiarowych.
- W opisie przebiegu doświadczeń opisanych w Rozdziale 8 brakuje reprezentatywnych przebiegów czasowych, na podstawie których Autor wyznacza współczynnik restytucji, współczynnik tarcia, itp., co nie pozwala ocenić poprawności wykonanych przez Autora obliczeń.
- Autor zaniedbuje wpływ temperatury w symulacjach testów uderzeniowych. Dlaczego? Czy temperatura w badaniach doświadczalnych (Rozdział 8) była monitorowana?
- Autor nie podaje informacji odnośnie wersji użytego oprogramowania LS-Dyna.
- Brakuje informacji, jakie oprogramowanie inżynierskie zostało użyte do analizy statystycznej.
- Brakuje szczegółowej informacji dot. procesu obliczeń przez program LS-Dyna – wybór odpowiedniego solvera, krok całkowania, całkowity czas symulacji, kryteria zbieżności, itp.
- Stworzona przez Autora siatka modelu MES jest równomierna. Czy badano wpływ adaptacyjnego zagęszczania węzłów siatki na otrzymane wyniki? Czy badane było użycie siatki z nierównomiernym rozmieszczeniem węzłów w miejscu spodziewanego uderzenia pocisku o próbkę?
- Tekst zawarty w Rozdziale 9 nie zawiera informacji dotyczącej testów parametrycznych siatki modelu MES (wielkość i rozmiar elementu skończonego, ilość węzłów, itp.). Czy taka analiza była przeprowadzona przez Doktoranta? Jeśli tak, to jaki jest np. wpływ wielkości elementu skończonego na wyniki?
- Model przedstawiony np. na Rys. 42, 44 i 45 zawiera tylko 1 element bryłowy przypadający na grubość pojedynczej laminy. Czy Autor analizował zwiększenie liczby warstw przypadających na pojedynczą laminę i z jakim skutkiem?
- Przy przeprowadzaniu tego typu obliczeń wskazane jest dołączenie (w formie dodatku do pracy) przykładowego pliku wsadowego do programu MES (w tym przypadku LS-Dyna), co pozwoliłoby odtworzyć zawarte w pracy obliczenia. W rozprawie brakuje takiego załącznika.

5. KONKLUZJA

Biorąc pod uwagę omówione powyżej rezultaty rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Juzunia można stwierdzić, iż wyniki jego badań dotyczące projektowania osłon podwozi pojazdów szynowych są istotne z punktu widzenia dyscypliny inżynieria mechaniczna. Co warto podkreślić rezultaty obliczeń numerycznych przeprowadzonych przez Doktoranta wsparte są wynikami badań laboratoryjnych.

Dorobek naukowy Doktoranta, na który powołuje się w rozprawie zawiera 3 pozycje. W spisie literatury przywołane są 1 współautorski referat konferencyjny, 1 publikacja recenzowana opublikowana w czasopiśmie w listy MNiSW oraz 1 raport.

Wymienione przez mnie usterki w Rozdziale 4 niniejszej recenzji nie podważają faktu potwierdzenia założonych przez Doktoranta tez badawczych i rozwiązania sformułowanych w/wstępie zadań. Doktorant poprawnie sformułował problem badawczy, uzasadnił jego podjęcie wykazał się wiedzą z zakresu realizowanej tematyki pracy, przeprowadził związane z nim badania doświadczalne i numeryczne m.in. z użyciem autorskich stanowisk laboratoryjnych, a także przeprowadził poprawną analizę otrzymanych wyników.

Uważam, iż wyniki pracy mgr inż. Mateusza Juzunia mają charakter aplikacyjny (wdrożeńowy) : ukierunkowaniem na projektowanie osłon pojazdów szynowych. Wydaje się, iż przedstawione przez Doktoranta w pracy wyniki badań mogą mieć cenny wymiar finansowy (w kontekście potencjalnego odbiorcy przemysłowego) i być podstawą opracowania wytycznych konstruowania w/w osłon.

Podsumowując, moim zdaniem, przedstawione w rozprawie wyniki spełniają wymagania stawiane przez obowiązującą **Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach tytule w zakresie sztuki**. Upoważnia mnie to do przedłożenia Radzie Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach wniosku o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Prof. Janusz Gołdasz

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)
