

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Woźniaka

**pt. Konfiguracja i walidacja wytrzymałościowa stosów zaworowych
amortyzatorów z użyciem modeli numerycznych**

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego-Technologicznego
Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Anny Timofiejczuk, prof. PŚ.

z dnia 31.10.2018 r.

1. Uwagi ogólne

Praca doktorska mgr inż. Mateusza Woźniaka została wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Piotra Czopa. Przedstawiona do recenzji praca zawiera 242 strony, ze spisem treści, streszczeniem w języku polskim i angielskim, 8 głównymi rozdziałami i spisem literatury zawierającym 166 pozycji.

Poświęcona jest ważnej, z praktycznego punktu widzenia, tematyce projektowania oraz doboru systemów zaworowych stosowanych w hydraulicznych amortyzatorach kolejowych przy uwzględnieniu i wykorzystaniu modeli numerycznych. Przedstawione i szczegółowo opisane w pracy podejście, stanowi oryginalny wkład autora w proces projektowania oraz walidacji nowych konstrukcji amortyzatorów, uwzględniający ważne kryteria: wytrzymałości zmęczeniowej stosów dysków sprężystych będących głównym elementem systemu zaworowego oraz doboru parametrów geometrycznych umożliwiających uzyskanie wymaganych sił tłumienia. Zaproponowana i wykorzystana metoda bazująca na użyciu narzędzi analitycznych w tym oprogramowania wspomagającego projektowanie (typu CAD) przedstawia kompletną procedurę w zakresie projektowania i doboru stosów dysków sprężystych zaworów amortyzatorów hydraulicznych. Praca stanowi unikalną pozycję obejmującą jednocześnie aspekty teoretyczne, jak i praktyczne projektowania amortyzatorów

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 08 STY 2019

nr 473/D/006 z dnia 31.12.2018

hydraulicznych. Wypełnia w ten sposób lukę w analizowanym obszarze, wynikającą z ograniczonego zakresu wiedzy ogólnodostępnej stanowiącej najczęściej poufne i niepublikowane dane producentów.

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Woźniaka stwierdzam, że bezsprzecznie może ona być zakwalifikowana do dyscypliny naukowej budowa i eksploatacja maszyn, w której Wydział Mechaniczny-Technologiczny Politechniki Śląskiej ma uprawnienia do nadawania stopnia doktora nauk technicznych.

2. Charakterystyka i zakres rozprawy doktorskiej

Praca, jak na rozprawę doktorską jest dość obszerna bowiem obejmuje 242 strony. Rozprawę doktorską otwiera wprowadzenie stanowiące zwarte przedstawienie i osadzenie tematu, poczynając od ogólnych zagadnień związanych z rozwojem transportu kolejowego, poprzez drgania i hałas w środkach transportu kolejowego, systemy zawiesznień stosowane w tych pojazdach, po elementy odpowiedzialne za tłumienie drgań w tym pasywne amortyzatory hydrauliczne.

W rozdziale 2 opisano budowę i zasadę działania hydraulicznych amortyzatorów stosowanych w pojazdach szynowych oraz sposób kształtowania żądanej charakterystyki tłumienia. Przedstawiono w zwartej formie metody modelowania i badań w zakresie dynamiki pojazdów szynowych. Podkreślić należy, iż wprowadzenie stanowi bardzo dobre i wystarczające przedstawienie zagadnień analizowanych w ramach rozprawy.

Następnie przedstawiono tezę oraz cele pracy. Teza pracy brzmi: **Matematyczny nieliniowy model systemu zaworowego stosowany w amortyzatorach hydraulicznych dedykowanych dla pojazdów szynowych, opracowany przez wybór parametrów fizycznych oraz geometrycznych modelu (zmienne projektowe) mających największy wpływ na wyniki analizy numerycznej, pozwala zgodnie z przyjętymi założeniami modelu na odzwierciedlenie działania systemu zaworowego w środowisku numerycznym z użyciem metody elementów skończonych przy możliwie najkrótszym czasie trwania symulacji. Opracowany**

matematyczny nieliniowy model systemu zaworowego pozwala na numeryczną walidację systemów zaworowych pod kątem wymaganych sił tłumienia oraz wytrzymałości zmęczeniowej.

Mimo, iż teza wydaje się być nieco złożona i długa, to w treści zawiera ogrom pracy, jaka została zrealizowana przez doktoranta w ramach realizacji rozprawy doktorskiej i z punktu widzenia realizacji pracy jest kompletna i odpowiednio sformułowana. Cele główne dla wykazania słuszności postawionej tezy zostały sformułowane w postaci pięciu celów szczegółowych, które w praktyczny i przejrzysty sposób odpowiadają realizacji poszczególnych etapów pracy.

W rozdziale 3 wprowadzono i scharakteryzowano modele: matematyczny systemu zaworowego oraz amortyzatora obejmujący elementy mechaniczne systemu zaworowego, model przepływu cieczy hydraulicznej przez system zaworowy oraz model wytrzymałości zmęczeniowej stosu sprężystego.

Rozdział 4 stanowi znaczną część pracy, liczy 70 stron i zawiera szczegółową analizę modelu stosu zaworowego, bazującego na metodzie elementów skończonych z wykorzystaniem elementów bryłowych i powłokowych oraz wyniki symulacji dla tego modelu. Opisano także sposób i zakres badań eksperymentalnych, zawierających wyznaczenie charakterystyki mechanicznej stosu zaworowego na maszynie wytrzymałościowej oraz wyznaczenie wykresu pracy amortyzatora na stanowisku badawczym. Wyznaczono również krzywe Wohlera na maszynie wytrzymałościowej. Otrzymane wyniki posłużyły do walidacji i dostrojenia modelu numerycznego.

W rozdziale 5 przedstawiono wyniki symulacji numerycznych dla analiz wrażliwości wyjść modelu systemu zaworowego tłoka oraz denka, jak również modelu amortyzatora hydraulicznego. Analizy przeprowadzono dla granicznych wartości tolerancji rozpatrywanych parametrów geometrycznych oraz fizycznych.

Rozdział 6 zawiera podsumowanie z badań opisanych w rozdziale 5 i obszerne analizy wrażliwości dla wybranych parametrów. W efekcie analiz wybrano tzw. „top3” – trzy najistotniejsze parametry o największym wpływie na kryteria projektowe.

W rozdziale 7 dokonano pogłębionej analizy dla określonych jako „top3” parametrów i ich wpływu na wytrzymałość zmęczeniową stosu zaworowego oraz siłę tłumienia amortyzatora.

W zakończeniu rozprawy przedstawiono wnioski końcowe, wykazano poprawność przyjętych tez oraz omówiono zastosowanie praktyczne opracowanych modeli dyskowych systemów zaworowych. Pracę zamyka streszczenie rozprawy w języku angielskim.

3. Ocena redakcyjna

Opracowanie redakcyjne recenzowanej dysertacji jest na bardzo wysokim poziomie. Struktura pracy jest logiczna i dobrze przemyślana, a podział pracy jest prawidłowy. Również szata graficzna jest przejrzysta i dopracowana, a zamieszczone wykresy są czytelne i wyraźne.

4. Uwagi szczegółowe i krytyczne

Podkreślić należy bardzo dobrą stronę edycyjną pracy, gdzie praktycznie po lekturze całości wystąpiło zaledwie kilka błędów literowych.

W trakcie lektury zauważyłem zaledwie kilka nieścisłości dlatego proszę doktoranta o ustosunkowanie się do następujących uwag i udzielenie odpowiedzi na pytania:

- doktorant wielokrotnie opisuje uzyskane wykresy zmian sił w funkcji przemieszczenia, jako charakterystyki tłumienia amortyzatora. Przyjęte stałe parametry wymuszenia (skok i częstotliwość) podczas testów eksperymentalnych które posłużyły do weryfikacji otrzymanych rezultatów odpowiadają konkretnemu „punktowi” pracy, co z punktu widzenia założonego celu w pracy jest prawidłowym i wystarczającym wyborem. Jednak użycie sformułowania charakterystyka tłumienia w tym przypadku jest nieuprawnione, gdyż zgodnie z definicją jest to wykres interpolacji sił tłumienia dla maksymalnych wartości prędkości liniowej w określonym zakresie. Dotyczy to np. rysunków 46, 124, 133, 143, 153. Jako komentarz dodam, że definicja przytoczona przez doktoranta na stronie 31 jest prawidłowa.

- w obszarze kształtowania charakterystyki tłumienia skupiono uwagę głównie na układzie zaworów z dyskami sprężystymi. Oczywiście jest to prawidłowe założenie dla pracy amortyzatora w obszarze prędkości, dla których ciśnienia podczas ruchu dobicia i odbicia amortyzatora wymuszają otwarcie tych zaworów. Co z kształtowaniem typowo silnie progresywnej charakterystyki przy niższych wartościach ciśnienia, gdzie jeszcze nie występuje otwieranie zaworów? Czy w przypadku amortyzatorów kolejowych są stosowane podobne rozwiązania konstrukcyjne jak w amortyzatorach dla pojazdów samochodowych?

- przedstawione w pracy wyznaczone różnego typu charakterystyki nieliniowe (np. rys.99) są wykresami punktowymi aproksymowanymi najprawdopodobniej nieliniowymi funkcjami. Z pewnością podanie równania funkcji na wykresie, wraz z współczynnikiem dopasowania byłoby wystarczającym uzupełnieniem potwierdzającym to stwierdzenie.

- czy zdaniem doktoranta założenie wyznaczania charakterystyki tłumienia, jako funkcji siły tłumienia względem prędkości liniowej tłoczyska nie stanowi jednego ze źródeł uproszczenia (prędkość liniowa stanowi kombinację skoku i częstotliwości wymuszenia) mającego wpływ na kształtowanie wykresu pracy i charakterystyki?

Poruszone powyżej zagadnienia nie wpływają na bardzo wysoki poziom przedstawionej dysertacji.

5. Podsumowanie i ocena końcowa rozprawy doktorskiej

Doktorant w swojej pracy zajął się ważnym i aktualnym zagadnieniem. Praca stanowi unikalną pozycję, łączącą zarówno aspekty teoretyczne i praktyczne zagadnień związanych z modelowaniem i projektowaniem stosów zaworowych amortyzatorów hydraulicznych. Zaproponowana i wykorzystana metoda bazująca na użyciu narzędzi analitycznych, w tym oprogramowania wspomagającego projektowanie opisuje kompletnie procedurę w zakresie projektowania i doboru stosu dysków sprężystych w aspektach kształtowania charakterystyki pracy amortyzatora oraz wytrzymałości zmęczeniowej systemów zaworowych.

Do oryginalnych i bardzo istotnych elementów pracy zaliczam:

- zaproponowanie wieloaspektowej i holistycznej metody wspomagania projektowania systemów zaworowych amortyzatorów hydraulicznych,
- przeprowadzenie rzetelnych i wyczerpujących badań eksperymentalnych z wykorzystaniem profesjonalnego zaplecza badawczego,
- unikalne podejście wielowątkowe w modelowaniu (od modelowania MES stosów dysków sprężystych poprzez model przepływu amortyzatora i model wytrzymałości zmęczeniowej systemu zaworowego),
- budowa modeli matematycznych i ich wnikliwą weryfikację oraz przeprowadzenie interesujących symulacji numerycznych,
- przeprowadzenie szczegółowej analizy wrażliwości oraz w konsekwencji określenie najistotniejszych względem założonego celu, parametrów najbardziej wpływających na kształtowanie wykresu pracy amortyzatora oraz wytrzymałość zmęczeniową stosu zaworowego.

Na podstawie analizy przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej pt. **„Konfiguracja i walidacja wytrzymałościowa stosów zaworowych amortyzatorów z użyciem modeli numerycznych”** wyrażam opinię, że mgr inż. Mateusz Woźniak zrealizował założone cele rozprawy, czym dowiódł prawdziwości tezy, że opracowany matematyczny nieliniowy model systemu zaworowego pozwala na numeryczną walidację systemów zaworowych pod kątem wymaganych sił tłumienia oraz wytrzymałości zmęczeniowej. W trakcie realizacji pracy doktorskiej wykazał się umiejętnością prowadzenia eksperymentów naukowych oraz stosowania współczesnych narzędzi badawczych. Efektem końcowym pracy jest kompletna procedura wraz ze zbiorem narzędzi wspomagających projektowanie i dobór stosu dysków sprężystych zaworów amortyzatorów hydraulicznych, zorientowana na uzyskanie założonych siły tłumienia oraz wymaganą wytrzymałość zmęczeniową.

Na podstawie recenzowanej pracy doktorskiej stwierdzam, że mgr inż. **Mateusz Woźniak potwierdził umiejętność samodzielnego postawienia i rozwiązania zadania naukowego oraz wykazał się wiedzą w zakresie doskonalenia i rozwoju metod modelowania i projektowania stosów dyskowych zaworów amortyzatorów hydraulicznych. Opiniowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, sformułowane w obowiązującej ustawie o**

stopniach i tytule naukowym (w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003) i może być dopuszczona do publicznej obrony. Jednocześnie mając na uwadze wysoki poziom naukowy przedstawionej do recenzji rozprawy występuję z wnioskiem o nadanie wyróżnienia. Uzasadnieniem dla wyróżnienia tej rozprawy jest przede wszystkim bardzo szeroko zakrojony i bardzo dobrze zrealizowany program badawczy, którego częścią centralną było opracowanie kompleksowej metody wraz z odpowiednimi narzędziami wspomagającymi proces projektowania stosu płytek zaworowych, jako elementów składowych amortyzatorów hydraulicznych stosowanych w pojazdach szynowych. Podkreślić należy ogrom pracy włożonej w realizację zarówno praktycznej, jak i teoretycznej strony pracy, wykraczający poza wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Autor wykazał bardzo dobrą znajomość użytych technik eksperymentalnych oraz umiejętność wykorzystania profesjonalnego zaplecza badawczego. Czynnikiem wyróżniającym tę rozprawę jest staranne i bardzo dobrze przemyślane oraz zrealizowane kompleksowe rozwiązanie postawionego zadania badawczego. Praca pana Mateusza Woźniaka jest w tym względzie unikatowa i zasługuje na wyróżnienie.

