



**Silesian University
of Technology**

DOCTORAL DISSERTATION

Daniel Buczkowski

Coupled Fluid-Structure Interaction Numerical Model of the Shock Absorber Valve

Sprężony przepływowo-mechaniczny model numeryczny zaworu amortyzatora

Supervisor: dr hab. inż. Grzegorz Nowak, prof. PŚ

Gliwice 2021

Streszczenie

Sprężony przepływowo-mechaniczny model numeryczny zaworu amortyzatora

Systemy zawiesznień samochodowych są udoskonalane na przestrzeni wielu lat. Ich kluczowym elementem jest amortyzator, którego zadaniem jest zapewnienie komfortu i manewrowości samochodu, a co za tym idzie bezpieczeństwa jazdy. Firmy branży automatowej, będące liderami w projektowaniu i produkcji amortyzatorów prowadzą liczne procesy badań i rozwoju mające na celu doskonalenie ich produktów. Aby pozostać konkurencyjnym na tym polu wykorzystuje się nowoczesne narzędzia obliczeniowe pozwalające na szybsze oraz tańsze pozyskiwanie odpowiedzi dotyczących wytrzymałości komponentów, parametrów pracy w różnych warunkach, optymalizacji kształtu konstrukcji, optymalizacji masy produktu i innych. Wyzwaniem na tym polu jest odwzorowanie pracy zaworów amortyzatora, umożliwiając ich dogłębną analizę, tym samym wsparcie procesów rozwoju nowych technologii w tym zakresie. W niniejszej rozprawie doktorskiej zaprezentowano studium wykorzystania metody numerycznej pozwalającej na analizę pracy różnych technologii zaworów. Cel ten został zrealizowany przy wykorzystaniu modelowania sprężonego 2-way Fluid-Structure Interaction zaimplementowanego w oprogramowaniu ANSYS. W związku z tym, że dostępne technologie zaworów różnią się znacząco między sobą nie jest możliwe zaproponowanie jednego uniwersalnego modelu dla nich wszystkich. Konieczne było przygotowanie modelu dedykowanego dla konkretnej technologii. W niniejszej pracy opisano metody modelowania dwóch klasycznych zaworów, które pokrywają znaczną część obecnie produkowanych amortyzatorów pasywnych. Opisywane typy rozwiązań w zaworach to zawór o konstrukcji stosu zaciśniętych dysków oraz zawór zwrotny (konstrukcja jednego dysku ze sprężyną dociskającą). Poza metodami modelowania klasycznych zaworów występujących w popularnych rozwiązaniach, w pracy opisano również model specjalnego zaworu pomocniczego zwanego zaworem kontrolowanego przecieku, który jest opracowywany jako część zaawansowanego zaworu pasywnego klasy premium. Opis jego pracy stawia odmienne wymagania dotyczące metody modelowania numerycznego, a w szczególności adaptacji dynamicznej siatki płynu.

Przedstawione metody modelowania numerycznego *2-way Fluid Structure Interaction* zaprezentowano w formie kompleksowego opisu zasad przygotowania modelu geometrii, aplikacji warunków brzegowych, dobór modelu fizycznego oraz dyskretyzacji modelu ze szczególnym naciskiem na definicję odkształcalnej siatki płynu. W opisie zwrócono uwagę na trudności wynikające z ograniczeń metod FEA/CFD oraz zaproponowano ich rozwiązania. Opisane podejścia do modelowania poszczególnych typów zaworów zostały wykorzystane w praktyce do analizy zachowania komercyjnie stosowanych zaworów oraz skonfrontowane z wynikami uzyskanymi z pomiarów na stanowisku badawczym.

Metoda modelowania zaworu o konstrukcji stosu dysków zwalidowana została na podstawie trzech wariantów strony kompresji zaworu montowanego na tłoczysku. Model numeryczny wykazał dobrą korelację z eksperymentem, która nie przekraczała 10% rozbieżności między otrzymanymi charakterystykami tłumienia w całym zakresie pomiaru. Następnie

modelowanie wykorzystanie zostało do identyfikacji źródła zjawiska histerezy charakterystyki zaworu tego typu. Analiza skupiona była na pracy zaworu dolnego (amortyzator dwururowy) o wysokiej sztywności stosu dysków. W tym celu przeprowadzono pomiary na stanowisku oraz wykonano model numeryczny odpowiadający cechom geometrycznym zaworu. Obecność histerezy charakterystyki zidentyfikowana została jako efekt zjawiska tarcia między dyskami, który w przypadku licznego stosu dysków w połączeniu z silnym stanem naprężenia wstępnego dysków skutkował istotnym, obserwowalnym polem histerezy.

Metoda modelowania zaworu zwrotnego, została wykorzystana to odwzorowania strony odbicia zaworu dolnego (kompresji). W tym celu rozważano dwie konfiguracje zaworu, o różnych sztywnościach sprężyny zamykającej, 70N oraz 30N. Wykonano adekwatne modele numeryczne, a następnie dla modelu, który wykazywał zadowalając korelację z danymi eksperymentalnymi przeprowadzono szereg analiz dla wymuszeń przepływu o wysokiej częstotliwości oraz zmiennej amplitudzie w zakresach 0 – 150Hz oraz 0 – 80l/min. Zaobserwowano silne oscylacje ciśnienia w trakcie otwierania zaworu, które zidentyfikowano jako efekt bezwładności dysku.

Metoda modelowania zaworu kontrolowanego przecieku (zawór komfortu) przecieku została wykorzystana do określenia zakresu strojenia charakterystyki zaworu z wykorzystaniem dysków o różnej grubości i kształcie. Wykonano symulacje 12 złożeń zaworu w zakresie pracy zaworu 0 – 4l/min. Charakterystyki zamknięcia zaworów otrzymane z modeli numerycznych FSI, pozwoliły na ocenę zachowania zaworu w zależności of geometrii jego komponentów. Strojenie zaworu dla rozważanych przypadków możliwe jest w zakresie od 0.6 do 3.2 l/min przepływu. Opóźnienie przełączenia się charakterystyki otwartej na zamkniętą może generować skok ciśnienia do 3.9bar w zależności od grubości fulcrum i dysków regulacyjnych. Zaprezentowane aplikacje opisanych metod potwierdzają, że zaproponowane podejście z wykorzystaniem modelowania FSI pozwala na uzyskanie wiarygodnych wyników przy zadowalającym stopniu korelacji z danymi eksperymentalnymi. Opisane modele fizyczne nie wymagają korelacji współczynników z wykorzystaniem danych eksperymentalnych dzięki czemu mogą być zaadoptowane dla nowych konstrukcji przy ograniczonym ryzyku utraty korelacji. W efekcie ich wdrożenia w procesie rozwoju lub opracowywania nowej technologii zaworu zespół inżynierski może wykonać optymalizację konstrukcji oraz walidować szereg koncepcji bez konieczności zamawiania fizycznych prototypów oraz szeregu eksperymentów.