

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY

Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej

**Rozprawa doktorska**

*Zastosowanie Metody Elementów Skończonych  
Czasu Rzeczywistego w symulacji hybrydowej*

mgr inż. Waldemar Mucha

Promotor: dr hab. inż. Wacław Kuś, Prof. Pol. Śl.

Gliwice 2018

## Streszczenie

Praca dotyczy metod redukcji modelu w symulacji hybrydowej. Symulacja hybrydowa jest metodą badania układów mechanicznych zawierających elementy trudne bądź niemożliwe do zamodelowania numerycznego. Metoda polega na jednoczesnym przeprowadzaniu analizy numerycznej oraz eksperymentu. Układ mechaniczny dzielony jest na podukład fizyczny, który podłączany jest do siłowników i badany eksperymentalnie, oraz podukład wirtualny, który modelowany jest numerycznie, z użyciem Metody Elementów Skończonych (MES). W eksperymencie zadaje się podukładowi fizycznemu takie same przemieszczenia, jakie wystąpiłyby w rzeczywistości podczas zadanego obciążenia całego układu mechanicznego. W przypadku badań zakładających dynamikę układu obliczenia MES muszą być wykonywane w czasie rzeczywistym, aby sterować pracą siłowników w eksperymencie w zamkniętej pętli.

W pracy wykazano, że dzięki redukcji modelu MES możliwe jest przeprowadzanie, z użyciem mikrokontrolera, obliczeń czasu rzeczywistego w symulacji hybrydowej dla układów o większej liczbie stopni swobody (bez zwiększania kroku czasowego), i otrzymywanie poprawnych wyników. Opracowano metody redukcji modelu uwzględniające podział na podstruktury, występujący w symulacji hybrydowej. Metody te wykorzystują superpozycję modalną, dynamiczną kondensację oraz techniki metamodelowania.

Ponadto przedstawiono algorytm wykorzystywania układów FPGA do wsparcia obliczeń MES czasu rzeczywistego. Algorytm polega na rozwiązywaniu metodą bezpośrednią w każdej iteracji czasu układu równań algebraicznych w układzie FPGA.