

Streszczenie

W pracy przedstawiono aktualizację parametrów na podstawie częstotliwości i postaci drgań własnych przy użyciu iteracyjnej procedury bazującej na macierzy wrażliwości z wykorzystaniem pomiarów rotacyjnych i translacyjnych stopni swobody.

W rozdziale 1 pracy opisano rozwój mostownictwa w przeciągu kilku ostatnich lat w Polsce oraz dokonano przeglądu literatury dotyczącej uszkodzeń, awarii i diagnostyki konstrukcji mostowych w Polsce oraz zamieszczono przegląd metod aktualizacji modeli MES stosowanych na świecie. Opisano również czujniki stosowane w badaniach diagnostycznych obiektów mostowych, szczególną uwagę poświęcając czujnikom MEMS.

Rozdział 2 pracy poświęcono zagadnieniom teoretycznym. Opisano metody redukcji bazy stosowane w aktualizacji parametrów, kryteria walidacji postaci drań własnych, aktualizację przy użyciu par modalnych, podstawowe definicje macierzy wag oraz funkcję odpowiedzi częstotliwościowej (FRF). Dodatkowo dokonano szczegółowego przeglądu metod optymalizacji w inżynierii.

Zagadnienia zawarte w rozdziale 3 koncertują się na aktualizacji parametrów modelu MES na podstawie danych numerycznych. W pierwszej części rozdziału zdefiniowano 12 autorskich indeksów. Dokonano aktualizacji sztywności giętych elementów modelu MES na podstawie sygnałów z różnej liczby czujników „pomiarowych” translacji i rotacji rozmieszczonych zgodnie z pięcioma schematami dla modelu belki swobodnie podpartej. Następnie zaproponowano autorskie definicje macierzy wag w 8 wariantach oraz opisano kryteria wyboru poprawnego wyniku aktualizacji parametrów. Dokonano aktualizacji paramentów i opisano wpływ wyboru wariantu macierzy wag i stosowanego kryterium na wynik aktualizacji parametrów. Zbadano także wpływ szumów pomiarowych na wynik aktualizacji parametrów. Następnie wykonano analizy na danych numerycznych dotyczące aktualizacji warunków podporowych oraz sztywności globalnej modelu MES.

W rozdziale 4 opisano stanowisko pomiarowe do badan laboratoryjnych. Przedstawiono model doświadczalny belki swobodnie podpartej, stosowane czujniki pomiarowe, sposób wzbudzenia drgań oraz systemy akwizycji danych. W rozdziale tym zawarto przykładowe wyniki sygnałów pomiarowych wraz z ich transformatami Fouriera oraz wybrane postacie drgań własnych belki.

Rozdział 5 poświęcony jest aktualizacji parametrów na podstawie danych uzyskanych z badań eksperymentalnych belki swobodnie podpartej. W pierwszej części rozdziału dokonano analizy wyników aktualizacji parametrów na podstawie 11 translacyjnych stopni swobody w zależności od wariantu macierzy wag oraz od kryterium wyboru wyniku aktualizacji parametrów. Na tej podstawie w kolejnych podrozdziałach dokonano aktualizacji parametrów na podstawie 6 translacyjnych stopni swobody, 6 rotacyjnych stopni swobody oraz 6 translacyjnych i 6 rotacyjnych stopni swobody.

W rozdziale 6 przedstawiono badania rzeczywistych konstrukcji inżynierskich przy użyciu żyroskopów MEMS. Rozdział rozpoczyna się od opisu czujników stosowanych do pomiaru rzeczywistych konstrukcji inżynierskich. Przedstawiono sposoby wzbudzenia konstrukcji mostowych z użyciem wzbudników, pojazdów, pieszych i innych metod specjalnych w zależności od typu użytkowego obiektu. Następnie przedstawiono wyniki badań in situ dla: kładki łukowej nad drogą S8, kładki nad trasą Ogińskiego w Bydgoszczy oraz wiaduktu Brańskiego w Koninie. Rozdział zakończony jest szczegółowymi wynikami badań przeprowadzonych na kładce nad ulicą Chwarznieńską w Gdyni. Na podstawie uzyskanych sygnałów przyspieszeń oraz prędkości kątowych przeprowadzono aktualizację parametrów kładki z dodatkowymi masami zlokalizowanym w wybranych elementach.

Rozdział 7 jest podsumowaniem pracy oraz wskazaniem dalszych kierunków rozwoju zaprezentowanej tematyki, związanej z użyciem czujników żyroskopowych do celów diagnostyki nieniszczącej.

Abstract

The thesis is devoted to development of diagnostic procedures for civil engineering structures. The nondestructive method is based on updating of FEM model parameters on the basis of natural frequencies and mode shapes. The presented iterative method uses the sensitivity matrix as well as the measurements of rotational and translational degrees of freedom of the structure.

Chapter 1 describes the achievements of the bridge engineering society in the past few years in Poland. It consists of a review of literature focused on the damage detection and diagnostics of bridge structures in Poland as well as update methods of FEM models. Brief information on sensors used in in situ tests of bridges, with particular attention to the MEMS sensors, have also been presented.

Chapter 2 is devoted to theoretical issues. It describes Model Reduction Methods, Eigenvectors Validation Criteria, definitions of Weighting Matrix, updating of parameters using modal pairs and the frequency response function (FRF). In addition, a review of methods of optimization is presented.

Chapter 3 focuses on updating of parameters of the FEM model of the simply supported beam based on numerical data. In this Chapter new indices are proposed, definitions of Weighting Matrices are developed and the criteria for selecting the correct result of updating of parameters has been proposed. The influence of noise of the measurement signals on updating of parameters result has been examined. The subsequent analysis of parameter updating with respect to the support conditions and global rigidity of FEM model have been performed.

Chapter 4 describes the experimental setup including the model of a simply supported beam, used sensors, vibration excitation methods and data acquisition systems. Selected results of the measured signals are presented.

Chapter 5 is devoted to the updating of parameters on the basis of data obtained from experimental studies of the simply supported beam. The results have been analyzed on the basis of the updating of parameter using 11 translational degrees of freedom, 6 translational degrees of freedom, 6 rotational degrees of freedom and both: 6 translational and 6 rotational degrees of freedom.

The Chapter 6 presents the in situ tests of real engineering structures using MEMS gyroscopes. The results of in situ tests for the arched footbridge over the road S8, footbridges over the route Ogińskiego in Bydgoszcz and viaduct Brański in Konin are presented. Chapter is summarized by detailed results of the tests carried out on the footbridge above the Chwarznieńska street in Gdynia. On the basis of the signals of the accelerations and angular velocities, updating of the FEM model parameters with additional masses located in selected locations is performed.

Chapter 7 contains the concluding remarks drawn from the analysis conducted in the thesis. It is stated that the aim of the thesis has been achieved since the study proved that the measurements of the rotational degrees of freedom enrich the iterative updating procedure based on modal pairs. Some indications of the further directions of research related to the use of MEMS gyroscopes sensors for non-destructive diagnostics are presented.