

Streszczenie

Wykrywanie zmian w węzłach konstrukcji z wykorzystaniem badań nieniszczących

Bezpieczne użytkowanie obiektów budowlanych wymaga przeprowadzania okresowych i doraźnych kontroli ich stanu technicznego. Tradycyjne przeglądy są czasochłonne i mogą być wykonywane wyłącznie przez specjalistów posiadających odpowiednie uprawnienia, co skutkuje wysokimi kosztami, a mimo to wystąpienie usterki pomiędzy kontrolami okresowymi może pozostać niezauważone. Istnieją jednak nowoczesne, nieniszczące metody pomiarowe, które wraz z zaawansowanymi narzędziami obliczeniowymi, umożliwiają ciągły monitoring konstrukcji.

Niniejsza praca poświęcona jest ocenie możliwości zastosowania wybranych, nieniszczących metod pomiarowych w połączeniu ze sztucznymi sieciami neuronowymi do wykrywania zmian w węzłach konstrukcji budowlanych.

Rozprawa doktorska składa się z sześciu rozdziałów. W pierwszym dokonano przeglądu literatury dotyczącej monitorowania stanu konstrukcji, wymieniono popularnie stosowane metody pomiarowe oraz narzędzia obliczeniowe wykorzystywane w SHM, wraz z szerszym omówieniem tych spośród nich, które zostały wykorzystane w pracy. W rozdziale drugim przedstawiono rozważany problem, badany model i przyjętą metodykę, a w szczególności opisano procedurę wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w zadaniu wykrywania anomalii w węzłach, powtarzaną w odniesieniu do każdej z zastosowanych metod pomiarowych. W kolejnych trzech rozdziałach zaprezentowano procedury wykrywania zmian w połączeniach modelu dwukondygnacyjnej, stalowej ramy portalowej. Bazują one na wynikach pomiarów z wykorzystaniem trzech wybranych, nieniszczących metod pomiarowych jakimi były: pomiar drgań konstrukcji za pomocą czujników przyspieszeń wraz z analizą modalną, pomiary drgań z wykorzystaniem cyfrowej korelacji obrazu oraz rejestracja propagacji fali sprężystej z użyciem przetworników piezoelektrycznych. Szósty rozdział zawiera podsumowanie wyników przeprowadzonych badań wraz z porównaniem możliwości wykorzystania wybranych metod do detekcji zmian w węzłach konstrukcji. W rozdziale tym zaproponowano również kierunki dalszych badań. Na końcu pracy umieszczono załącznik, w którym przedstawiono niezbędne wyniki symulacji numerycznych, których, dla przejrzystości pracy, nie umieszczono w jej głównej treści.

W celu realizacji zadania wykonano jeden model laboratoryjny stalowej, dwukondygnacyjnej ramy portalowej, o gabarytach umożliwiającym samodzielne wykonanie eksperymentu. Elementy modelu w całości wykonano z kształtownika IPE80 (stal S235) i połączono ze sobą w węzłach (połączenia doczołowe, śrubowe, sprężone) dokręcając wszystkie łączniki momentem o jednakowej wartości. Kontrolę dokręcenia realizowano przy pomocy klucza dynamometrycznego. Taki stan uznawano każdorazowo za prawidłowy - bez uszkodzenia. W trakcie eksperymentu luzowano łączniki według przyjętego scenariusza. Poluzowanie łączników wykonywane było ręcznie (przy pomocy klucza), jednak bez innej kontroli poza wzrokową - poluzowanie pozostawało niezauważalne.

Zastosowanie nowoczesnych metod nieniszczących wspomaganych sztucznymi sieciami neuronowymi pozwoliło określić stan połączeń analizowanej konstrukcji, choć nie wszystkie metody nieniszczące umożliwiły jednakowo skuteczną ocenę ich stanu.

Procedury opracowane w trakcie prezentowanych prac dają pogląd na wrażliwość wybranych parametrów na zmiany w połączeniach, jednak nie mogą być wprost zastosowane do monitorowania stanu połączeń w innej konstrukcji (wymagają przynajmniej adaptacji SSN).

Warto zwrócić uwagę na nowatorskie aspekty pracy takie jak łączenie lokalnych podejść do wykrywania uszkodzeń w jeden system globalnej oceny stanu konstrukcji czy detekcję bardzo małych zmian w węzłach w porównaniu z tymi, prezentowanymi w publikacjach innych autorów.

Summary

Detection of changes in structure connections with the use of non-destructive tests

Safe use of building structures requires periodic and ad hoc inspections of their technical condition. Traditional inspections are time-consuming and can only be performed by qualified specialists, resulting in high costs, yet failures between periodic inspections can go unnoticed. However, there are modern non-destructive measurement methods that, together with advanced computational tools, enable continuous monitoring of the structure.

This dissertation is devoted to the assessment of the applicability of selected non-destructive measurement methods in conjunction with artificial neural networks to detect changes in the connections of building structures.

The present doctoral dissertation consists of six chapters. In the first, the literature on structure condition monitoring was reviewed, popularly used measurement methods and calculation tools used in SHM were listed along with a broader discussion of those that were used in the work. The second chapter presents the problem under consideration, the tested model and the adopted methodology, and in particular describes the procedure of using Artificial Neural Networks (ANN) in the task of detecting anomalies in connections, repeated for each of the applied measurement methods. The next three chapters present the procedures for detecting changes in the joints of the two-story steel portal frame model. They are based on the results of measurements with the use of three selected, non-destructive measurement methods, which were: measurement of structure vibrations using acceleration sensors together with modal analysis, vibration measurements using digital image correlation and registration of elastic wave propagation with the use of piezoelectric transducers. The sixth chapter summarizes the results of the conducted research together with a comparison of the possibilities of using selected methods to detect changes in structure connections. This chapter also proposes directions for further research. At the end of the thesis there is an appendix with the necessary results of numerical simulations, which, for the sake of clarity, were not included in the main content.

In order to carry out the task, one laboratory model of a steel, two-story portal frame was made, with dimensions allowing for independent execution of the experiment. The model elements are entirely made of the IPE80 section (steel S235) and are connected with each other in joints (butt, bolted, preloaded connections), tightening all the connectors

with a torque of the same value. The tightening was checked using a torque wrench. This condition was considered correct each time - no damage. During the experiment, the connectors were loosened according to the adopted scenario. Loosening of the fasteners was performed manually (with a wrench), but without any other inspection other than visual - the loosening remained imperceptible.

The use of modern non-destructive methods supported by artificial neural networks allowed determining the state of the connections of the analyzed structure, although not all non-destructive methods made it possible to equally effectively assess their condition.

The procedures developed in the course of the presented works provide an overview of the sensitivity of selected parameters to changes in connections, however, they cannot be directly used to monitor the condition of connections in a different design (they require at least ANN adaptation).

It is worth paying attention to the innovative aspects of the work, such as combining local approaches to damage detection into one global structure condition assessment system or the detection of very small changes in connections compared to those presented in the publications of other authors.