

Mariusz ŻÓLTOWSKI

e-mail: mzoltowski@poczta.onet.pl

Wydział Zarządzania, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Badania degradacji materiałów**Wstęp**

Procesy degradacji materii w środowisku naturalnym wymuszają ich ocenę oraz poszukiwanie nowych metod ich badania.

Wprowadzane do budowni nowe materiały i nowe technologie wymuszają potrzebę doskonalenia metod badania ich charakterystyk dynamicznych.

Celem pracy jest rozpoznanie przydatności analizy modalnej do oceny degradacji materiałów budowlanych, szczególnie elementów mурowych [1–8].

Wykorzystanie analizy modalnej

Realizacja analizy modalnej daje model modalny, który stanowi uporządkowany zbiór częstości własnych, odpowiadających im współczynników tłumienia oraz postaci drgań własnych. Na podstawie znajomości modelu modalnego można przewidzieć reakcje obiektu na dowolne zaburzenie, zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości.

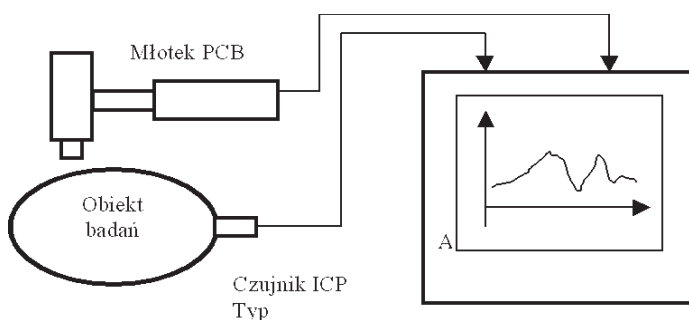
Analiza modalna jest stosowana dla celów modyfikacji konstrukcji, diagnostyki stanu konstrukcji, dla celów syntezy sterowania w układach aktywnej redukcji drgań oraz dla celów weryfikacji i walidacji modeli numerycznych takich jak modele elementów skończonych czy modele elementów brzegowych.

Ważnym ograniczeniem stosowania analizy modalnej jest założenie o ograniczonej liczbie stopni swobody badanego układu, z czym wiąże się wymiar macierzy mas, sztywności i tłumienia oraz liczba teoretycznych częstości własnych i postaci drgań.

W większości praktycznych zastosowań analizy modalnej wymagany jest wielokanałowy eksperyment oraz złożone obliczenia związane z przetwarzaniem zmierzonych sygnałów oraz estymacją parametrów modelu. Tak widziane możliwości zastosowań pozwalają wyróżnić następujące rodzaje analizy modalnej:

- teoretyczną, która wymaga rozwiązania zagadnienia własnego dla przyjętego modelu strukturalnego badanego obiektu,
- eksperymentalną, wymagającą sterowanego eksperymentu identyfikacyjnego, podczas którego wymusza się ruch obiektu (np. drgania) oraz dokonuje pomiaru wymuszenia i pomiaru odpowiedzi w wielu punktach pomiarowych,
- eksploatacyjną, opierającą się na eksperymencie w warunkach rzeczywistych, w którym dokonuje się pomiarów tylko odpowiedzi układu, a ruch obiektu spowodowany jest rzeczywistymi wymuszeniami eksploatacyjnymi.

Eksperyment identyfikacyjny w eksperymentalnej analizie modalnej (Rys. 1) polega na wymuszeniu drgań obiektu przy jednoczesnym pomiarze siły wymuszającej i odpowiedzi układu, najczęściej w postaci widma przyspieszeń drgań.



Rys. 1. Idea badań w eksperymentalnej analizie modalnej

Model modalny (częstości drgań własnych, tłumienie oraz postacie drgań) uzyskiwany jest z diagramu stabilizacyjnego i prezentowanej programowo animacji postaci drgań. W tej pracy wykorzystano eksperymentalną analizę modalną, określając częstości drgań własnych (z diagramów stabilizacyjnych), funkcję FRF definiowaną jako stosunek sygnału wejściowego do wyjściowego (jest to inwersja $H(f)$) oraz inne ważne estymatory procesu drganiowego.

Badania elementów mурowych

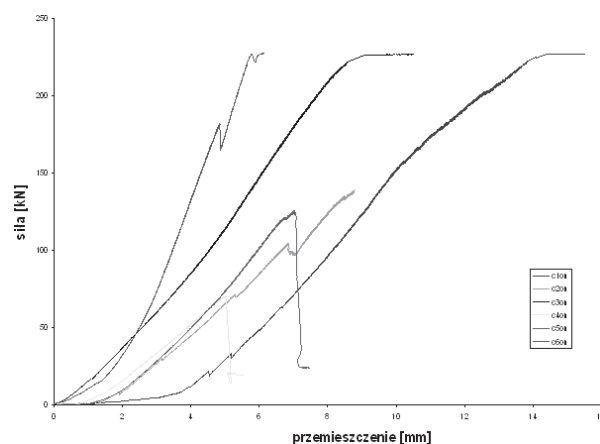
Wybrane do badań elementy mурowe (cegła pełna, cegła dziurawka, cegła betonowa, porotherm, suporeks, bloczek betonowy) poddano badaniom zniszczeniowym na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8502 – dla ustalenia stałości warunków badań.

Na rys. 2 przedstawiono stanowisko pomiarowe do badań degradacji elementów mурowych.



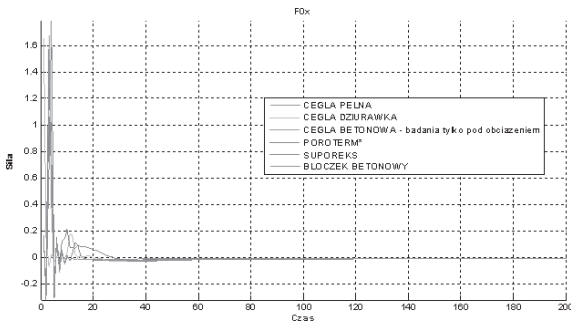
Rys. 2. Stanowisko badawcze: element mурowy podwieszony na żyłce (uwolnienie stopni swobody), młotek modalny, czujniki piezokwarcowe do pomiaru drgań, komputer

Analiza przebiegu charakterystyk obciążeń zniszczenia poszczególnych elementów mурowych pozwoliła na wyróżnienie trzech obciążeń dla każdego materiału (Rys. 3).



Rys. 3. Wykresy krzywych zniszczenia poszczególnych elementów mурowych

Na rys. 4 przedstawione zostały przebiegi siły wymuszenia młotkiem modalnym i odpowiadające im amplitudy przyspieszeń drgań jako sygnały odpowiedzi dla badanych elementów mурowych, poddanych obciążeniu 75 kN.



Rys. 4. Przebiegi czasowe siły wymuszenia wzdluz osi X dla badanych 6 elementow murowych pod obciazeniem 75 kN

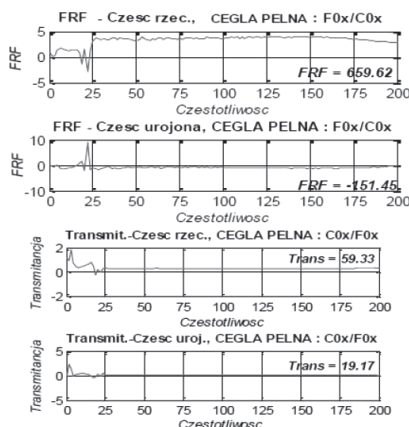
Narzędzia badawcze – oprogramowanie

Wyznaczanie parametrów modalnych odbywa się z diagramu stabilizacyjnego, który można uzyskać bezpośrednio z numerycznej analizy modalnej (LMS) lub wykorzystując metodę LSCE. Została ona zaimplementowana w programie VIOMA opracowanym w zespole prof. T. Uhla [1–5].

Zarejestrowane w badaniach sygnały drganiowe (wymuszeń i odpowiedzi) podlegają dość skomplikowanemu przetwarzaniu dla potrzeb wyznaczenia miar stanu destrukcji elementów murowych.

Z danych pierwotnych przedstawionych w arkuszach Excela, przy wykorzystaniu oprogramowania GENERATE SYMPTOMS, wykonanego w środowisku MATLAB na potrzeby tych badań, wygenerowano wskazane i uzasadnione 12 miar stanu dla każdego badanego elementu murowego. Poniżej zaprezentowano tylko przykłady różnicujące stany badanych elementów murowych. Ze względu na zróżnicowaną informację w miarach FRF oraz $H(f)$ wyznaczano dla nich część rzeczywistą i część urojona.

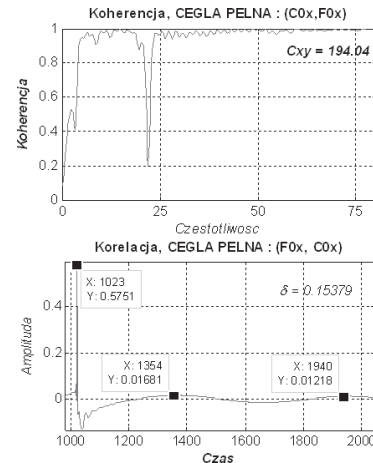
Stosunek widma siły wymuszenia do widma amplitudy przyspieszenia drgań wyznacza funkcję FRF (część rzeczywistą i urojona). Inwersją do FRF jest znana szeroko funkcja transmitancji (część rzeczywista i urojona). Wyznaczanie tych miar wymusza zatem najpierw stworzenie widm badanych sygnałów wymuszeń i sygnałów odpowiedzi, a dalej dopiero wyznaczenie FRF oraz $H(f)$. Zmiany tych miar w skali częstotliwości dla prezentowanych przypadków pokazano na rys. 5.



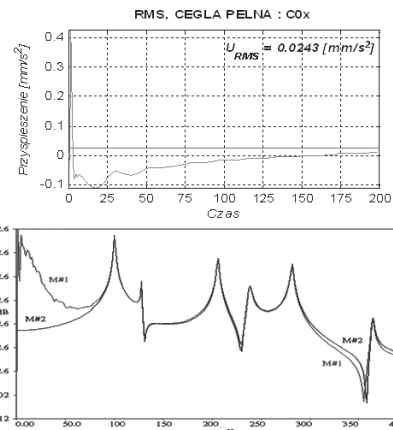
Rys. 5. Przebiegi zmienności FRF oraz $H(f)$ (części rzeczywistych i urojonych) dla badanej cegły pełnej bez obciążenia

Do przydatnych i dobrze różnicujących stan degradacji elementów murowych miar drganiowych należą – funkcja koherencji, o dobrych właściwościach badania podobieństwa między dwoma sygnałami w dziedzinie częstotliwości, a także funkcja korelacji wzajemnej, o podobnych właściwościach, ale definiowanych w dziedzinie czasu, pokazane na rys. 6.

Na kolejnym rys. 7 przedstawiono przebieg wartości amplitudy skutecznej ogólnego poziomu drgań oraz diagram stabilizacyjny uzyskany z programu VIOMA, a wyznaczający charakterystyczne częstości własne badanych elementów murowych.



Rys. 6. Przebiegi wartości funkcji koherencji i funkcji korelacji wzajemnej



Rys. 7. Przebiegi amplitudy skutecznej przyspieszenia drgań oraz diagram stabilizacji

Podsumowanie

Uzyskane miary drganiowe dla różnych obciążeń destrukcji badanych elementów murowych już nawet jakościowo dobrze różnicują badane materiały. Dla potrzeb tej pracy przetworzono wyniki badań 6 elementów murowych w programie OPTIMUM, SVD oraz zbudowano modele regresyjne. Takie podejście umożliwiło zróżnicowanie miar, ich wartości dla różnej degradacji badanych materiałów. Potwierdzono skuteczność rozróżniania stanu badanych elementów murowych metodą analizy modalnej.

Metody identyfikacji w badaniach konstrukcji budowlanych (w tym materiałów budowlanych) stają się użytkowymi metodami oceny zmian stanu eksploatacyjnego.

Analiza modalna z jej odmianami realizacyjnymi coraz częściej wykorzystywana jest przez inżynierów budownictwa.

Model modalny dobrze odzwierciedla destrukcję obiektów.

LITERATURA

- [1] T. Uhl, W. Lisowski: Praktyczne problemy analizy modalnej konstrukcji. CCATIE, Kraków, 1996.
- [2] T. Uhl: Komputerowo wspomaganą identyfikacją modeli konstrukcji mechanicznych. WNT, Warszawa 1997.
- [3] T. Uhl, M. Petko: Journal of Theoretical and Applied Mechanics, **40**, 3, 797 (2002).
- [4] T. Uhl, W. Lisowski: In-operation modal analysis. Wyd. KRiDM AGH, Kraków, 2001.
- [5] T. Uhl, W. Lisowski, P. Kurowski: In-operation modal analysis and its applications. Wyd. KRiDM AGH, Kraków, 2001.
- [6] M. Żółtowski, R. Orłowicz: Zesz. Nauk., Budownictwo Ogólne, ATR, Bydgoszcz, 367 (2005).
- [7] M. Żółtowski: Zesz. Nauk., Budownictwo Ogólne, ATR, Bydgoszcz, 375 (2005).
- [8] M. Żółtowski: Diagnostyka, **33**, 168 (2005).

Pracę wykonano w ramach projektu WND-POIG.01.03.01-00-212/09.