

Weryfikacja modelu komputerowego rusztowania fasadowego

Paulina Jamińska-Gadomska¹, Jarosław Bęc¹, Tomasz Lipecki¹

¹Katedra Mechaniki Budowli, Politechnika Lubelska

e-mail: p.jaminska@pollub.pl, j.bec@pollub.pl, t.lipecki@pollub.pl

STRESZCZENIE: W niniejszym referacie przedstawiono analizę drgań własnych typowego rusztowania fasadowego. Stworzono model metody elementów skończonych, przeprowadzono analizę modalną, a wyniki otrzymane za pomocą obliczeń komputerowych (częstości i postaci drgań własnych) porównano z otrzymanymi w ramach badań przeprowadzonych na rzeczywistej konstrukcji rusztowania. W oparciu o uzyskane wyniki oraz bazując na wynikach analiz i badań odnośnie innych rusztowań, autorzy referatu sformułowali wnioski oraz wskazali trudności pojawiające się podczas modelowania konstrukcji tego typu, a także zaproponowali sposoby zwiększenia dokładności przy budowie modeli komputerowych rusztowań.

SŁOWA KLUCZOWE: rusztowanie fasadowe, analiza modalna, badania in-situ, MES

1. Wstęp

Rusztowania budowlane to konstrukcje tymczasowe wykorzystywane w trakcie wznoszenia obiektów budowlanych, a także podczas prac wykończeniowych. Z uwagi na ich tymczasowy charakter, są one często traktowane w sposób pobieżny. Tymczasem okazuje się, że są to konstrukcje złożone, zaś ich niezbyt dokładne modelowanie przyczynia się do istotnych błędów w analizie statycznej i dynamicznej, skutkując potencjalnym stanem awaryjnym konstrukcji rusztowania.

W poniższej pracy przedstawiono analizę komputerową i badania in-situ przykładowego rusztowania fasadowego. W ramach obliczeń przeprowadzono analizę modalną, w wyniku której otrzymano częstości i postaci drgań własnych. Podobne wyniki uzyskane zostały w badaniach in-situ przeprowadzonych na rzeczywistej konstrukcji rusztowania. Wyniki z obu źródeł zostały porównane i na ich podstawie dokonano próby identyfikacji częstości i postaci drgań.

2. Opis analizowanego rusztowania

Przedmiotem analiz było rusztowanie fasadowe ustawione przy nowym budynku biurowym zlokalizowanym przy ulicy Mangalia 2 w Warszawie. Rusztowanie zostało wykonane w systemie rusztowań ramowych Mostostal Plus firmy Altrad-Mostostal. Zestawiono je ze stalowych ram o szerokości 0,73 m, tworząc 15 pól w kierunku poziomym i 10 w kierunku pionowym. Całkowita długość rusztowania wynosiła 39,08 m, a wysokość w najwyższej części 18,20 m. Słupki ram za pomocą podstawek i podkładów drewnianych ustawione były na gruncie. Ramy kotwione były do żelbetowych elementów konstrukcyjnych budynku z zachowaniem siatki kotwień zgodnie z odpowiednią normą dotyczącą rusztowań [1]. Widok rzeczywistego rusztowania, na którym były wykonane badania, przedstawiono na rysunku 1.

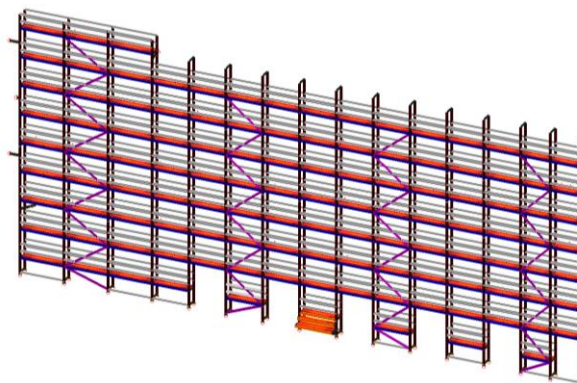
3. Komputerowa analiza modalna

Analizę modalną konstrukcji przeprowadzono za pomocą systemu Autodesk Simulation Multiphysics 2013, który oparty jest na metodzie elementów skończonych. Wykonano przestrzenny model MES konstrukcji rusztowania składający się z elementów prętowych (Rys. 2). Pręty ram

fasady zostały zamodelowane jako elementy ramowe, stężenia i bariery przyjęto jako elementy kratowe, zaś ażurowe pomosty stalowe przyjęto na podstawie zastępczego modelu prętowego przedstawionego w pracy [2]. W modelu uwzględniono ciężar krawężników przez zwiększenie masy elementów modelu zastępczego pomostu.



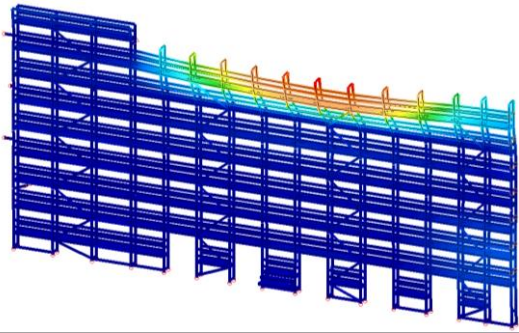
Rys. 1. Widok rusztowania



Rys. 2. Model komputerowy rusztowania

Charakterystyki geometryczne przekrojów poszczególnych elementów rusztowania, a także charakterystyki materiałowe, przyjęto na podstawie katalogów systemowych firmy Altrad-Mostostal.

Na podstawie analizy modalnej konstrukcji uzyskano postaci drgań własnych. Trzecia postać drgań, przy częstości drgań $f = 3,2$ Hz, charakteryzowała się wychyleniem górnego niezakotwionego poziomu ram i pomostów (Rys. 3). Większość postaci drgań ma charakter lokalny, co wynika z typowego naprzemiennego wzoru kotwienia rusztowania.

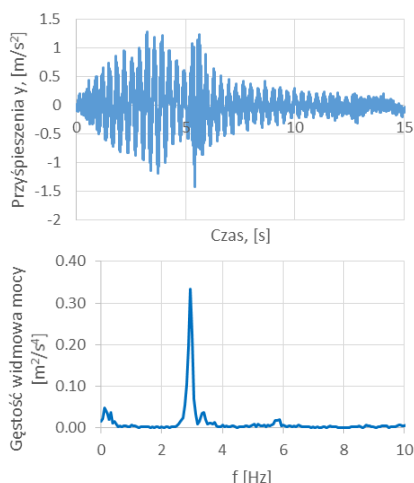
Rys. 3. Trzecia postać drgań rusztowania, $f = 3,2$ Hz

4. Pomiary drgań rusztowania

W ramach badań w terenie, dokonano pomiarów drgań swobodnych rusztowania. Wykorzystany został sprzęt Brüel & Kjær: rejestrator Pulse 3053-B-12 podłączony do komputera przenośnego oraz zestaw trzech akcelerometrów. Czujniki umieszczono poniżej ostatniego poziomu pomostów. Czujniki umieszczono poniżej ostatniego poziomu pomostów. Dwa akcelerometry trójosiowe 4506B-003 zostały zamontowane na słupkach skrajnych ram rusztowania, natomiast w środku rusztowania umieszczono dwa czujniki jednoosiowe 4508. Czujniki trójosiowe zostały ustawione w taki sposób, że mierzone były przyspieszenia drgań w dwóch kierunkach poziomych: x – wzdłuż fasady rusztowania, y – w kierunku poprzecznym, a także w kierunku pionowym – z . Czujniki jednoosiowe rejestrowały przyspieszenia w kierunkach poziomych. Drgania wzbudzane były przez balansowanie ciałem na rusztowaniu lub kilka rytmicznych podskoków wykonywanych przez jedną osobę o masie około 100 kg. Drgania wymuszano w pięciu punktach: w trzech w pobliżu zamocowania czujników oraz w dwóch pośrednich. W każdym punkcie wymuszano drgania kolejno w trzech kierunkach (x, y, z), zaś każdy pomiar był powtarzany. Pojedyncza rejestracja trwała około 20 sekund i obejmowała jednoczesny zapis przyspieszeń z ośmiu kanałów.

5. Analiza wyników

Otrzymane przebiegi przyspieszeń poddano analizie częstotliwościowej z wykorzystaniem oprogramowania HBM Catman 6.0. Operacji FFT poddano przebiegi drgań po ustaniu wymuszenia. Na podstawie funkcji gęstości widmowej mocy dokonano identyfikacji wzbudzonych częstości drgań własnych.



Rys. 4. Przebieg i spektrum przyspieszeń

Na rysunku 4 pokazano przykładową funkcję gęstości widmowej mocy przyspieszeń w punkcie na środku rusztowania, uzyskaną przy wymuszeniu w kierunku y w punkcie skrajnym rusztowania. Analizując wykresy uzyskane dla kierunku y , przy wymuszeniach w różnych punktach stwierdzono, że wzbudzona częstość drgań w kierunku poprzecznym wynosi około 3 Hz. Wartość ta jest zbliżona do uzyskanej w analizie modalnej MES.

6. Wnioski

Rusztowania budowlane, mimo ich tymczasowego charakteru, to konstrukcje bardzo złożone i trudne do modelowania komputerowego. Analiza statyczna konstrukcji nie nastęrcza dużych trudności, pod warunkiem starannego montażu i braku rozbieżności między rzeczywistie wzniesioną konstrukcją, a projektem. Wiele rusztowań powstaje w sposób chaotyczny, a ich geometria często odbiega od wcześniej założonej. Istotny wpływ na siły powstające w rusztowaniu ma odkształcalność gruntu. Nierównomierne osiadanie gruntu może mieć decydujący wpływ na rozkład sił w elementach rusztowania. Ocena wpływu zmienionej geometrii na pracę rusztowania jest jednym z tematów prac zespołu badawczego projektu PBS3/A2/19/2015 „Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych”, w ramach którego powstała także niniejsza praca.

Szczegółowa inwentaryzacja elementów rusztowania ze wskazaniem punktów kotwienia i dokładnym opisem wykorzystanych elementów oraz z uwzględnieniem pomiarów geodezyjnych, pozwala na budowę modelu komputerowego rusztowania, który w znacznym stopniu odpowiada rzeczywistej konstrukcji.

Problematyczna staje się natomiast analiza modalna i inne analizy dynamiczne. Szczególnie trudne do zamodelowania są luzy występujące w połączeniach między elementami konstrukcji, niemożliwe do wyeliminowania w konstrukcji tego typu, tj. tymczasowym rusztowaniu wielokrotnie montowanym. Konstrukcja, która w założeniu jest sprężysta, w rzeczywistości taką nie jest. Pomimo założenia w niniejszym referacie pełnej sprężystości i przy pominięciu luzów stworzony został uproszczony model MES rusztowania, zgodny z projektem, który pozwolił na przeprowadzenie analizy modalnej. Uzyskane rezultaty i ich porównanie z wynikami badań wskazują, że jest to model pozwalający na wstępną ocenę charakterystyk dynamicznych. Dalsze prace, które będą miały na celu przybliżenie modelu komputerowego do rzeczywistości, wymagać będą uwzględnienia w analizach powyżej poruszonych problemów.

Praca została wykonana w ramach projektu finansowanego przez NCBiR w ramach Programu Badań Stosowanych na podstawie umowy nr PBS3/A2/19/2015.

Literatura

- [1] EN 12810-1: Rusztowania elewacyjne z elementów prefabrykowanych – Część 1: Specyfikacje techniczne wyrobów, CEN 2003.
- [2] Robak A., *Numeryczne badania wytrzymałości pomostów umieszczonych na rusztowaniach*, Budownictwo i Architektura, Vol. 8, pp. 67-81, 2011.