

inż. Klara Borowska<sup>1)</sup>  
dr inż. Marcin Szczepański<sup>1)\*</sup>

# Wpływ rozmiaru otworów drzwiowych i okiennych oraz ich lokalizacji na zmianę częstotliwości drgań własnych i sztywności ściany wykonanej w technologii szkieletu drewnianego

**W** ostatnim czasie konstrukcje wykonane w technologii szkieletu drewnianego zyskują w Polsce na popularności. Wraz z rozwojem tej technologii zwiększa się też liczba inwestorów wprowadzających wiele zmian adaptacyjnych zarówno na etapie projektowania, jak i w fazie wykonawstwa. Zmiany w obrębie konstrukcji dotyczą zazwyczaj lokalizacji oraz wielkości otworów okiennych i drzwiowych w ścianach, co ma duży wpływ na sztywność układu ściennego [3, 4].

Celem artykułu jest analiza wpływu rozmieszczenia oraz rozmiarów otworów okiennych i drzwiowych na zmianę sztywności oraz częstotliwości drgań własnych ścian drewnianego budynku szkieletowego w porównaniu ze ścianami bez otworów.

## Model numeryczny drewnianej ściany szkieletowej

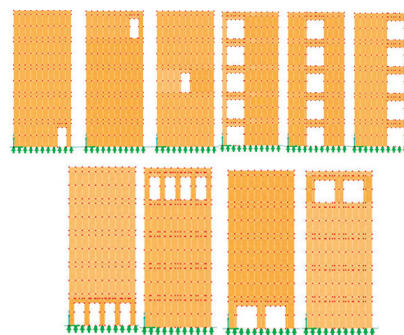
W badaniu analizowana była pięciokondygnacyjna ściana wykonana w technologii szkieletu drewnianego o szerokościach odpowiednio 3,0; 6,0 i 12,0 m. Grubość ściany wynosi 0,15 m, wysokość jednej kondygnacji 2,8 m, natomiast wysokość całej ściany 14 m. W ścianie zastosowano podpory węzłowe bez możliwości przesuwu, lecz ze swobodą obrotu we wszystkich kierunkach. W pierwszej kolejności zaprojektowano panel o wymiarach 1,20 x 0,60 x 0,15 m skonstruowany z połączonych elementów zamodelowanych jako słupki dreb-

niane. W modelu przyjęto klasę wyrobu C24 – jak w przypadku drewna konstrukcyjnego. Modele numeryczne zostały utworzone z wielu kompozytowych elementów konstrukcyjnych, składających się z trzech typów elementów powłokowych – jednego stanowiącego drewnianą ramę i dwóch reprezentujących warstwy zewnętrznego poszycia z płyt OSB. W modelach typowych ścian izolowanych wełną mineralną założono brak połączenia między warstwami, aby symulować sytuację, w której wełna mineralna umieszczana jest w ścianie, nie będąc z nią strukturalnie połączona. Zastosowane elementy kompozytowe reprezentują bezpośrednio modele eksperymentalne i numeryczne typowych elementów ściennych w budynku o konstrukcji drewnianej [5, 6].

Wpływ nowych otworów na częstotliwość drgań własnych był badany w dwóch kategoriach: otworów pojedynczych oraz systemowych. Jako otwory systemowe przyjęto szereg otworów umiejscowionych jeden nad drugim lub na jednej kondygnacji w odległości 0,5 m od siebie. Natomiast otwory pojedyncze zamodelowano w pięciu wybranych pozycjach na ścianie (rysunek 1). Zastosowano dwa rodzaje otworów: 0,9 x 2,0 m i 1,8 x 2,0 m.

## Analiza modalna

Analizy dynamiczne wykonano w programie Dlubal RFEM. Do dalszych badań i analiz przyjęto pierwsze i drugie postacie drgań własnych, gdyż korespondują one bezpośrednio z częstotliwością drgań własnych budynków pięciokondygnacyjnych [1, 2]. Wpływ lokalizacji i wielkości otworów został ustalony



Rys. 1. Przykładowe rozmieszczenie otworów w ścianach

przez obliczenie względnej zmiany częstotliwości drgań własnych z wzoru:

$$d_i = \frac{|\bar{f}_i - f_i|}{f_i} \cdot 100\%, \quad i = 1, 2$$

gdzie:

$d_i$  – względna zmiana  $i$ -tej częstotliwości drgań własnych;  $f_i$  –  $i$ -ta częstotliwość drgań własnych ściany bez otworów;  $\bar{f}_i$  – częstotliwość drgań własnych ściany z otworami.

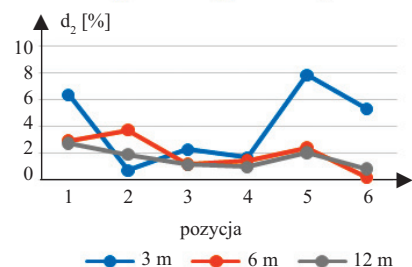
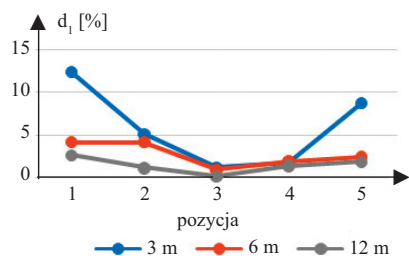
## Wyniki analiz

Rysunek 2 przedstawia względną zmianę pierwszej ( $d_1$ ) oraz drugiej ( $d_2$ ) postaci drgań własnych konstrukcji w przypadku pojedynczych otworów o rozmiarze 0,9 x 2,0 m w zależności od ich pozycji. Natomiast na rysunku 3 pokazano względną zmianę pierwszej ( $d_1$ ) oraz drugiej ( $d_2$ ) postaci drgań własnych konstrukcji dla pojedynczych otworów o rozmiarze 1,8 x 2,0 m w zależności od ich pozycji.

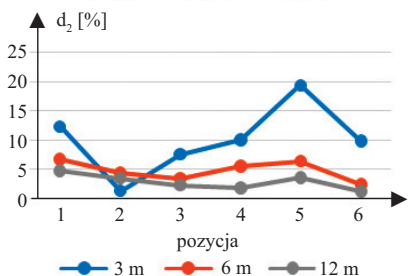
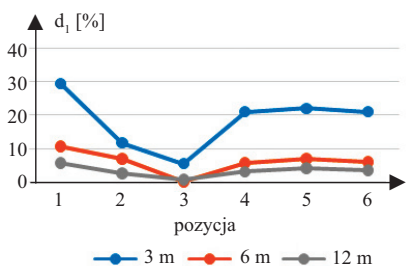
Największa zmiana częstotliwości pierwszej postaci drgań własnych wystąpiła w przypadku ściany o szerokości 3 m i otworu o rozmiarze 1,8 x 2,0 m zlokalizowanego w pozycji 1. W ścianach o szerokości 6 i 12 m wartości zmian były przybliżone.

<sup>1)</sup> Politechnika Gdańska; Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji:  
marcin.szczepanski@pg.edu.pl



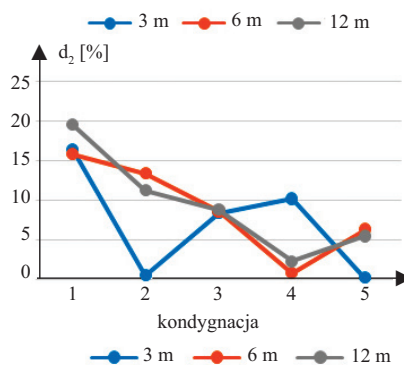
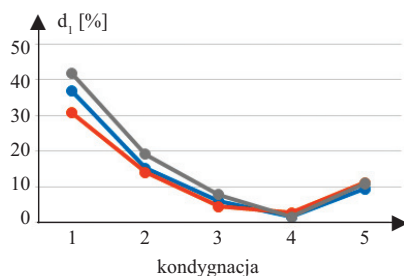
Rys. 2. Zmiana względnej częstotliwości drgań własnych w przypadku pojedynczych otworów 0,9 x 2,0 m



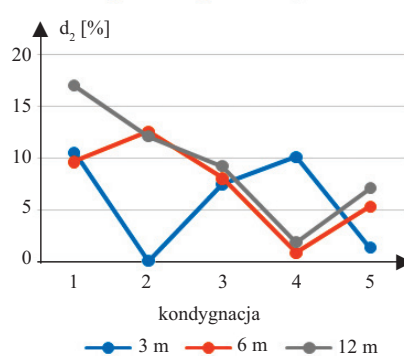
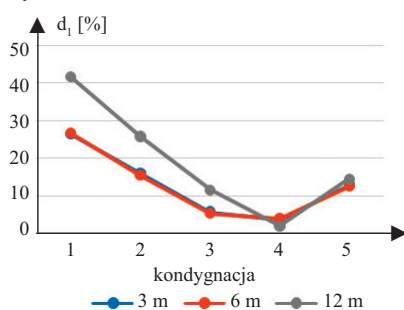
Rys. 3. Zmiana względnej częstotliwości drgań własnych w przypadku pojedynczych otworów 1,8 x 2,0 m

Na rysunku 4 przedstawiono względną zmianę pierwszej ( $d_1$ ) oraz drugiej ( $d_2$ ) postaci drgań własnych konstrukcji z systemowymi otworami o rozmiarze 0,9 x 2,0 m rozmieszczonymi poziomo na kondygnacji. Natomiast na rysunku 5 zaobserwować można względną zmianę pierwszej ( $d_1$ ) oraz drugiej ( $d_2$ ) postaci drgań własnych konstrukcji z systemowymi otworami o rozmiarze 1,8 x 2,0 m rozmieszczonymi poziomo na kondygnacji.

W przypadku otworów systemowych rozmieszczonych poziomo wykres różni się w zależności od postaci drgań. Przy pierwszej postaci, zarówno w przypadku otworów mniejszych, jak i większych, wartości są zbliżone dla każdej



Rys. 4. Zmiana względnej częstotliwości drgań własnych w przypadku systemowych otworów 0,9 x 2,0 m



Rys. 5. Zmiana względnej częstotliwości drgań własnych w przypadku systemowych otworów 1,8 x 2,0 m

szerokości ściany. Największe zmiany zachodzą, gdy otwory zlokalizowane są na pierwszej kondygnacji. Natomiast w przypadku drugiej postaci drgań własnych zauważyć można, że wykres dotyczący ściany o szerokości 3 m znacznie różni się od pozostałych. Największe różnice uzyskano wówczas, gdy otwory zlokalizowane były na drugiej i czwartej kondygnacji.

## Podsumowanie

Projektowanie nowych otworów o różnych rozmiarach oraz adaptacja już istniejących może mieć duży wpływ na zmianę częstotliwości drgań własnych, a co za tym idzie sztywność ścian w szkielecie drewnianym. W celu przeanalizowania tego zjawiska utworzono 142 modele numeryczne szkieletowych ścian drewnianych, zróżnicowane pod kątem rozmieszczenia otworów oraz ich wielkości. **W przypadku otworów pojedynczych** najbardziej niekorzystną lokalizacją jest pozycja 1, czyli otwór zlokalizowany w prawym dolnym narożniku ściany. Obserwujemy wówczas najmniejszą częstotliwość drgań własnych w porównaniu ze ścianą bez otworów, co wskazuje na najbardziej niewralgiczną lokalizację otworu z wytrzymałościowego punktu widzenia.

**W systemowych otworach** rozmieszczonych poziomo największa zmiana częstotliwości drgań własnych występuje, gdy otwory znajdują się na najniższej kondygnacji. Natomiast w przypadku otworów rozmieszczonych pionowo, najbardziej niekorzystna pozycja przy pierwszej postaci drgań własnych znajduje się blisko krawędzi ściany, a przy drugiej postaci – blisko środka ściany. Przeprowadzona analiza pokazuje złożoną istotę problemu, a niestety sztywność ścian jest niejednokrotnie pomijana podczas analizy konstrukcji.

## Literatura

- [1] Chopra A. K. 1995. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake, Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA.
- [2] Ciesielski R., K. Kuźniar, E. Maciag. 1992. „Tata.: Empirical formulae for fundamental natural periods of buildings with load bearing walls”. *Archives of Civil Engineering*, Vol. 38.
- [3] Praca zbiorowa pod kierunkiem dr. hab. inż. Wiesława Buczkowskiego: *Budownictwo ogólne. Tom 4. Konstrukcje budynków*. Arkady Sp. z o.o., Warszawa 2009, 2010.
- [4] Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Bogusława Stefańczyka: *Budownictwo ogólne. Tom 1. Materiały i wyroby budowlane*. Arkady Sp. z o.o., Warszawa 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010.
- [5] Szczepański Marcin, W. Migda, R. Jankowski. 2015. „Construction technology of timber-frame houses resistant to dynamic loads – study on models of exterior walls”. *Advances in Science and Technology Research Journal* 9 (28): 75 – 80.
- [6] Szczepański Marcin, W. Migda, R. Jankowski. 2019. „Experimental study on dynamics of wooden house wall panels with different thermal isolation”. *Appl. Sci.* 9, 4387.