

Krystyna Kuźniar, Maciej Zając

Analiza zmian właściwości dynamicznych ścian konstrukcyjnych budynków wywołanych ich modernizacją

Mimo że w ostatnich latach pojawiło się wiele nowych, różnorodnych technologii wznoszenia budynków mieszkalnych, w dalszym ciągu wśród już istniejących obiektów dominują ścianowe budynki prefabrykowane (wielkopłytowe i wieloblokowe). Znaczącą ich część stanowią obiekty o średniej wysokości – pięciokondygnacyjne. Wiele z nich posadowionych jest na obszarach objętych wpływami dynamicznymi, np. w bliskim sąsiedztwie eksploatowanych kamieniołomów czy w strefie wstrząsów górniczych. W analizie dynamicznej takich budynków niezbędne jest określenie ich właściwości dynamicznych – przede wszystkim częstotliwości drgań własnych.

W ostatnich latach, w wyniku zmian cywilizacyjnych w Polsce i dążenia do podniesienia komfortu życia mieszkańców istniejących budynków wielkopłytowych, pojawił się problem nadania tym obiektom „ludzkiej twarzy”, a więc ich modernizacji. Jedną z form takich działań modernizacyjnych są zmiany w ścianach konstrukcyjnych polegające na przebijaniu nowych otworów lub poszerzeniu otworów już istniejących [3].

W niniejszej pracy pokazano wyniki analizy wpływu nowych otworów, ich wielkości i położenia na zmianę sztywności typowych ścian konstrukcyjnych budynków o średniej wysokości (5-cio kondygnacyjnych). Oceny tych zmian dokonywano poprzez porównanie częstotliwości drgań własnych rozważanych ścian z otworami i odpowiednich częstotliwości ścian bez otworów.

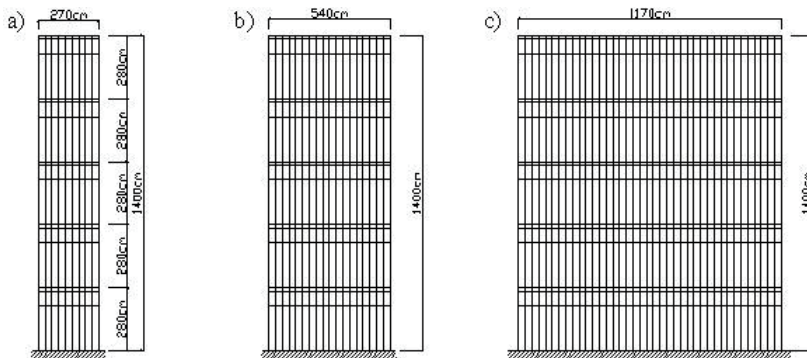
Charakterystyka przeprowadzonych obliczeń

Analizą objęto typowe ściany konstrukcyjne budynków 5-cio kondygnacyjnych. Są to ściany o szerokościach: 2,7 m, 5,4 m i 11,7 m. Grubość każdej ze ścian przyjęto jako 14 cm, gdyż taka grubość występuje jako typowa w wielu rzeczywistych budynkach wielkopłytowych. Podobne kryterium zastosowano, przyjmując 2,8 m jako wysokość każdej kondygnacji.

Modelując rzeczywiste ściany, przyjęto ich zamocowanie w poziomie stropu piwnicy ze względu na dużo większą sztywność ścian piwnicy w stosunku do sztywności kondygnacji nadziemnych [1]. Każda ze ścian ma zatem 14 m wysokości (5 x 2,8 m). Mimo że w budynkach niewysokich dość istotnym może być wpływ

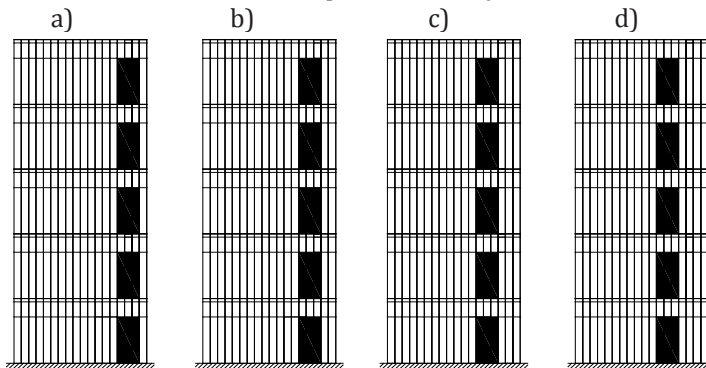
podatności podłoża na ich właściwości dynamiczne [6, 7], w modelach ścian pominięto ten wpływ i przyjęto podłoże sztywne z uwagi na podstawowy cel pracy, jakim jest analiza wpływu zmian w sztywności ścian kondygnacji nadziemnych na ich wartości częstotliwości drgań własnych. Przyjęto, że złącza są sztywne.

Analizowano ściany żelbetowe o gęstości $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$, module Younga $E = 29 \text{ GPa}$ i współczynnika Poissona $\nu = 0,17$. W poziomach stropów uwzględniono dodatkowo masę stropu z pasa o szerokości 3 m oraz masę wynikającą z 40% obciążenia zmiennego, a w poziomie stropu ostatniej kondygnacji – również od stropodachu (płyty panwiowe). Na rys. 1 pokazano geometrię analizowanych ustrojów w przypadku ścian pełnych – bez otworów.



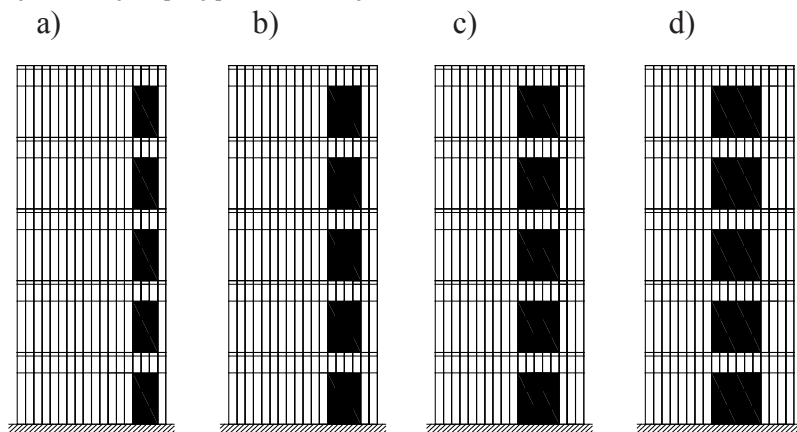
Ryc. 1. Geometria analizowanych ścian: a) 2,7 x 14 m, b) 5,4 x 14 m, c) 11,7 x 14 m

Wpływ otworów, ich wielkości i położenia na zmianę sztywności rozważanych ścian konstrukcyjnych budynków analizowano dla „systemowego” rozmieszczenia otworów. Pod pojęciem „systemowego” rozmieszczenia rozumie się serię otworów drzwiowych o wymiarach 90 cm x 200 cm usytuowanych jeden nad drugim, na wszystkich kondygnacjach. Rozważono położenia otworów wynikające z ich „przesuwu” względem krawędzi ściany o moduł 30 cm, aż do osiągnięcia połowy szerokości każdej ze ścian (wykorzystanie symetrii), co przykładowo dla kilku położeń otworów w ścianie o szerokości 5,4 m pokazano na rys. 2.



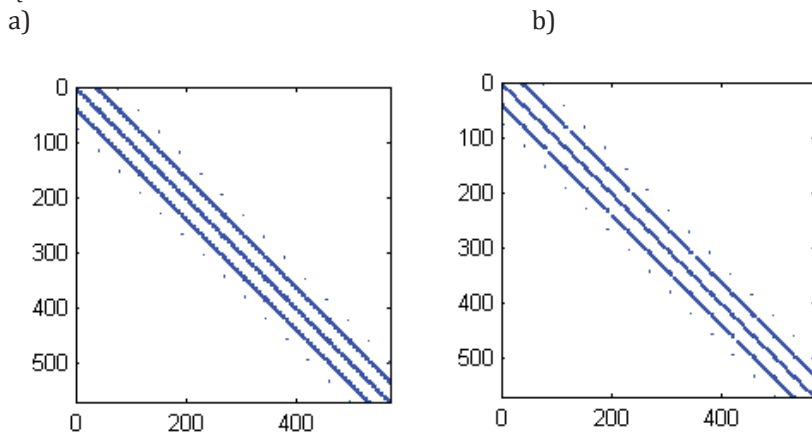
Ryc. 2. Systemowe rozmieszczenie otworów dla ściany 5,4 m w odległości od krawędzi: a) 30 cm, b) 60 cm, c) 90 cm, d) 120 cm

Dodatkowo w każdym położeniu otworów ustalonym w stosunku do krawędzi ściany, otwory „poszerzano” kolejno o 30 cm w zakresie 90–480 cm, co pokazano dla przykładowych przypadków na ryc. 3.



Ryc. 3. Przykładowe schematy rozmieszczenia otworów w ścianie 5,4 m odpowiednio o szerokości i odległości od krawędzi: a) 90 cm, 30 cm; b) 120 cm, 60 cm; c) 150 cm, 90 cm; d) 210 cm, 120 cm

Rozważono ponad 200 różnych schematów położenia i szerokości otworów. Przyjęto tarczowy model ściany. Obliczenia wykonano metodą elementów skończonych (MES) za pomocą programu Ansys [8] na komputerze Jowisz w ACK CYFRONET AGH, nr grantu: MNISW/HP_I_SD/AP/007/208. Wykorzystano 4-węzłowy element tarczowy „plate 42” o dwóch stopniach swobody w węźle oraz konsystentne macierze sztywności i mas (ryc. 4). Przyjęto sztywność elementów w miejscach otworów bliską zeru.



Ryc. 4. Graficzne przedstawienie położenia elementów niezerowych w macierzy sztywności (a) i macierzy mas (b) dla ściany 5,4 m z otworami 90 cm w odległości 30 cm od krawędzi (570 stopni swobody)

Analizą objęto dwie pierwsze częstotliwości drgań własnych poziomych f_1 [Hz] i f_2 [Hz] ścian ze względu na to, że takie drgania występują w rzeczywistych budynkach [4].

Ze względu na znaczne rozmiary zadania, poszukiwane częstotliwości drgań własnych zostały wyznaczone metodą Lanczosa [5]. Umożliwia ona znalezienie kilku początkowych ich wartości bez konieczności rozwiązywania pełnego układu równań.

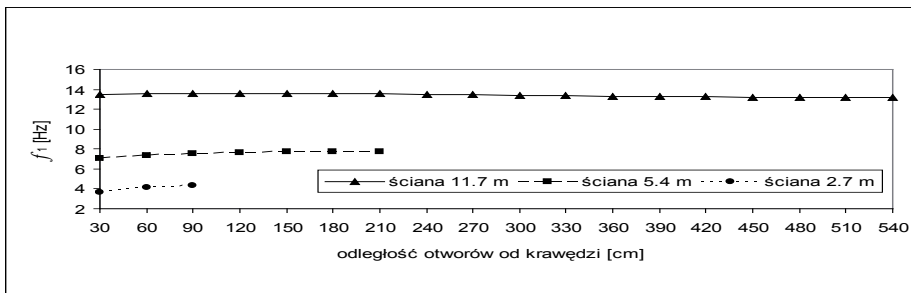
Wpływ położenia i wielkości otworów na sztywność ścian oceniano, wyliczając względne zmiany częstotliwości ich drgań własnych według zależności:

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

gdzie: d_i – względna zmiana i -tej częstotliwości drgań własnych, \bar{f}_i , f_i – odpowiednio: i -ta częstotliwość drgań własnych ściany bez otworu i ściany z otworami.

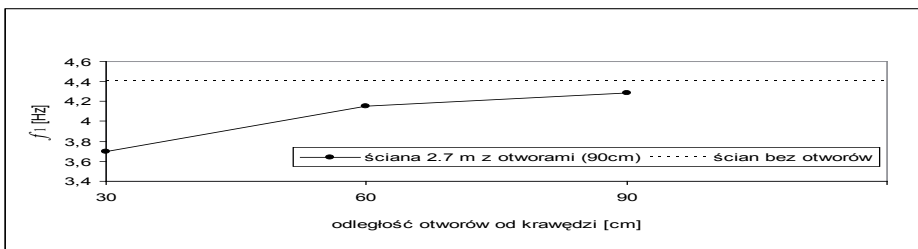
Analiza wyników

Na ryc. 5 pokazano zależność wartości pierwszej częstotliwości drgań własnych f_1 wszystkich analizowanych ścian od położenia (odległość od krawędzi tarczy) otworów o szerokości 90 cm. Dodatkowo na ryc. 6 porównano te częstotliwości z wartościami wyliczonymi dla odpowiednich tarcz bez otworów, które wynoszą: dla ściany 2,7 m – $f_1 = 4,40$ Hz, dla ściany 5,4 m – $f_1 = 8,28$ Hz, dla ściany 11,7 m – $f_1 = 14,46$ Hz.

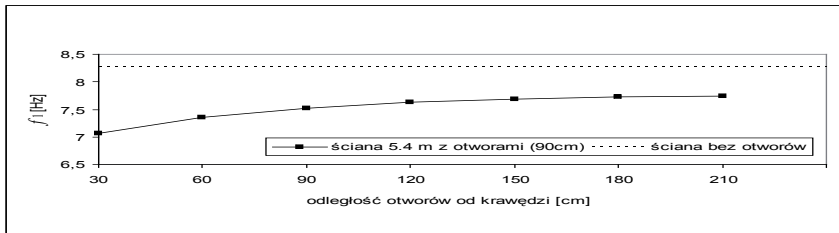


Ryc. 5. Wartości pierwszej częstotliwości drgań własnych ściany w zależności od położenia otworów o szerokości 90 cm

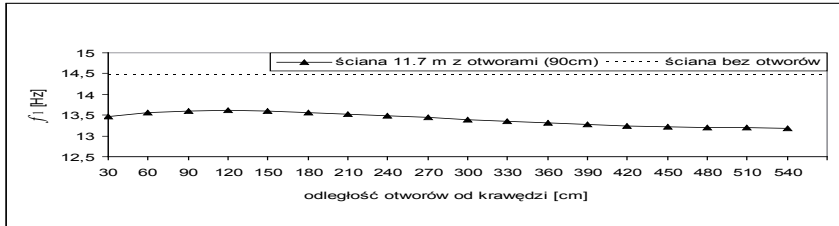
a)



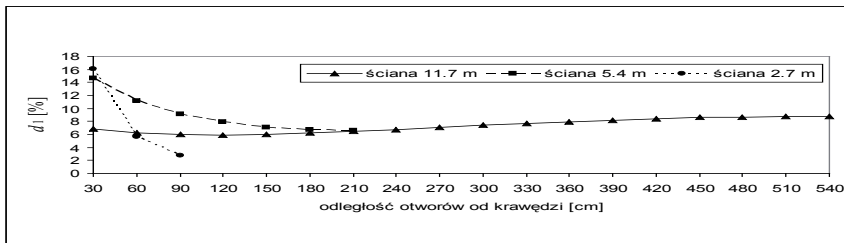
b)



c)



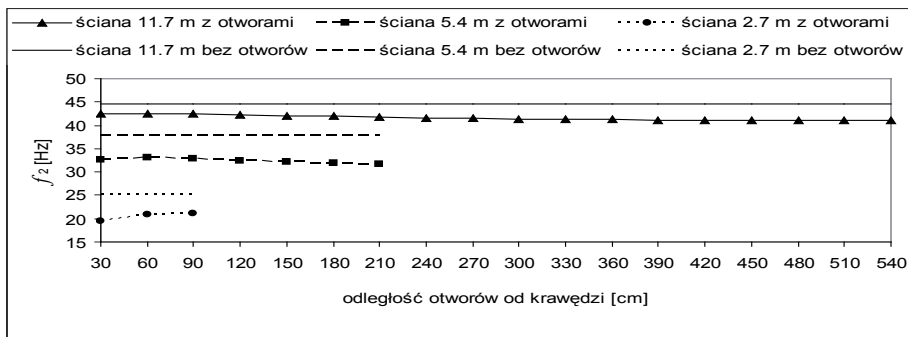
Ryc. 6. Porównanie wartości pierwszych częstotliwości drgań własnych ścian z otworami, z odpowiednimi wartościami dla ścian bez otworów: a) ściana 2,7 m, b) ściana 5,4 m, c) ściana 11,7 m



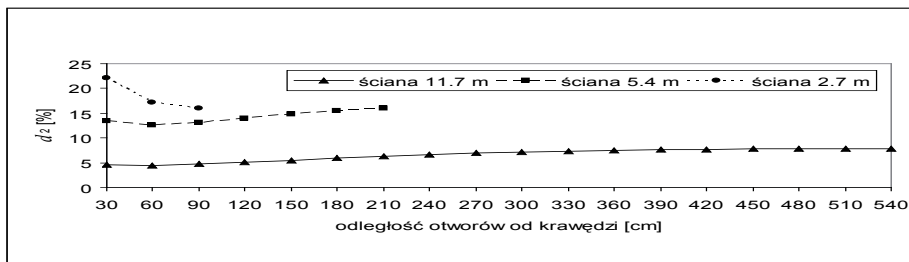
Ryc. 7. Względna zmiana d_1 pierwszej częstotliwości drgań własnych

Z kolei ryc. 7 przedstawia względną zmianę pierwszych częstotliwości drgań własnych d_1 rozważanych ścian, wyliczoną zgodnie ze wzorem (1).

Ryc. 8 i ryc. 9 zawierają analogiczne zestawienia w odniesieniu do drugich częstotliwości drgań własnych, a na ryc. 10 pokazano przykładowo pierwszą i drugą postać drgań własnych ścian w przypadku, gdy otwory o szerokości 90 cm znajdują się w odległości 30 cm od krawędzi ściany.

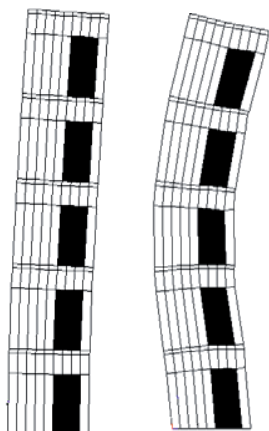


Ryc. 8. Zależność drugiej częstotliwości drgań własnych od położenia otworów (szer. 90 cm)

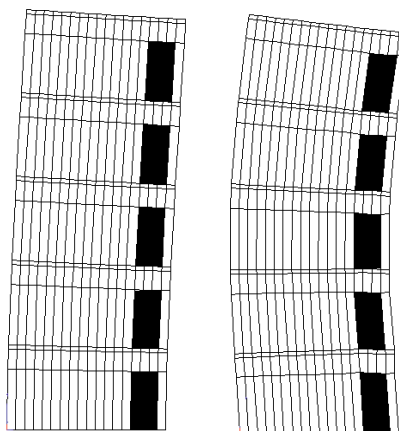


Ryc. 9. Względna zmiana d_1 pierwszej częstotliwości drgań własnych

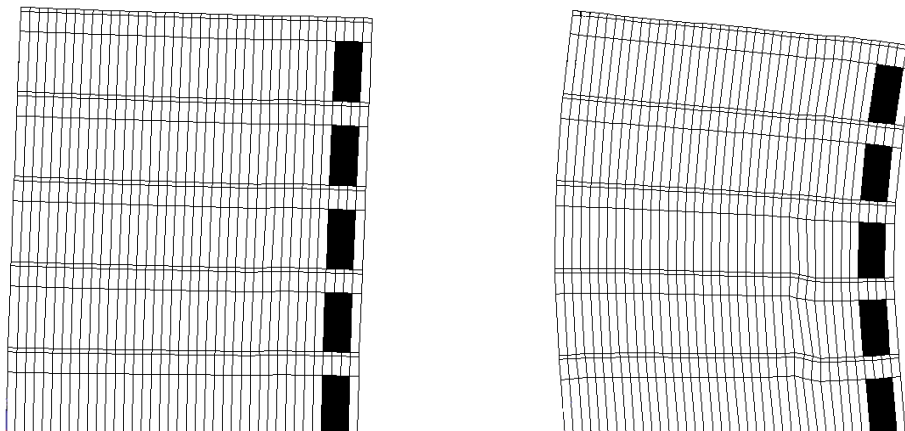
a)



b)



c)



Ryc. 10. Pierwsza i druga postać drgań własnych ścian w przypadku otworów o szerokości 90 cm w odległości 30 cm od krawędzi ściany: a) 2,7 m, b) 5,4 m, c) 11,7 m

Stwierdzono, że położenie otworów (odległość od krawędzi) wpływa istotnie na wartości częstotliwości drgań własnych ściany, czego należało się spodziewać. Największą zmianę wartości pierwszych częstotliwości drgań własnych (ich zmniejszenie, a więc spadek sztywności ściany) powoduje usytuowanie otworów w odległości 30 cm od krawędzi ściany o szerokości 2,7 m i 5,4 m (por. ryc. 7). Efekt ten jest szczególnie widoczny dla tarczy 2,7 m, gdzie powierzchnia otworów stanowi około 25% powierzchni całości. W przypadku tej ściany względna redukcja wartości pierwszej częstotliwości drgań własnych f_1 wynosi ponad 16%. Tak duży spadek wartości częstotliwości drgań własnych w przypadku ścian o szerokości 2,7 m i 5,4 m, gdy otwory znajdują się blisko krawędzi może być spowodowany tym, że praktycznie szerokość tarczy ulega znaczącemu zmniejszeniu, gdyż sztywność wąskiego paska między krawędzią a otworami staje się pomijalnie mała.

Ścianę o dużym stosunku wysokości do szerokości (np. ok. 5:1 w przypadku ściany 2,7 m, lub nawet 3:1 w przypadku ściany 5,4 m) można w przybliżeniu potraktować jako pręt wspornikowy. Wtedy jej sztywność jest tym większa, im większy jest moment bezwładności przekroju, czyli im bliżej środka przekroju znajdują się otwory. Zatem w przypadku tarczy o dużym stosunku wysokości do szerokości (większym od 2) ta prawidłowość dotycząca prętów wspornikowych jest zachowana.

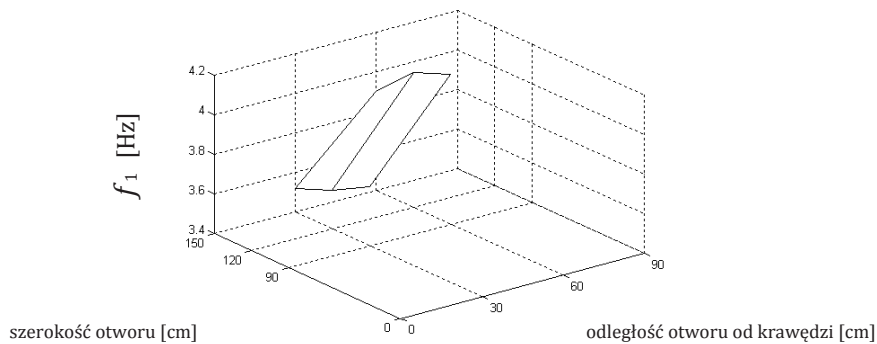
Analizując częstotliwości drgań własnych tarcz o małym stosunku wysokości do szerokości (np. ok. 1:1 w przypadku ściany o szerokości 11,7 m), który często występuje w rzeczywistych ścianach, stwierdzono, że taka prosta zależność wartości tych częstotliwości od położenia otworów w tarczy nie zachodzi (por. ryc. 7). W zakresie takich proporcji wymiarów ścian następuje nakładanie się efektów tarczowych (z uwagi na stosunek długości boków) oraz efektów spowodowanych wewnętrznym podziałem ustroju na pasma przez połączenie – tutaj otwory [2].

Na ryc. 11 i 12 przedstawiono odpowiednio wartości pierwszej i drugiej częstotliwości drgań własnych analizowanych ścian w funkcji odległości otworów od krawędzi ściany oraz szerokości otworów.

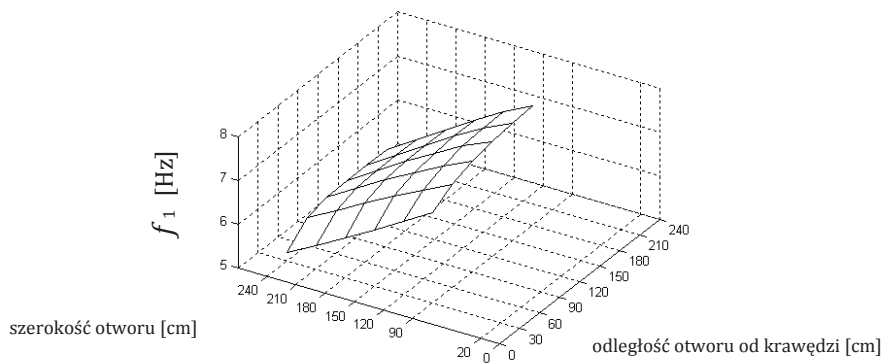
Przykładowo: na ryc. 13 pokazano względną zmianę d_1 pierwszej częstotliwości drgań własnych tarczy w przypadku zmian położenia i szerokości otworów dla ściany 11,7 m.

Dla ścian 2,7 m i 5,4 m najbardziej niekorzystne okazały się otwory o największej szerokości (odpowiednio 150 i 240 cm) zlokalizowane najbliżej krawędzi. Odpowiednie częstotliwości drgań własnych są wtedy najmniejsze. Natomiast dla ściany 11,7 m najmniejsze wartości częstotliwości drgań własnych występują, gdy duże otwory (480 cm szerokości) usytuowane są blisko środka jej szerokości. Wtedy względna redukcja wartości pierwszej częstotliwości drgań własnych f_1 wynosi aż ponad 50% (ryc. 13). Podobne trendy w charakterze zmian obserwowane były w przypadku otworów o szerokości 90 cm (bez poszerzania).

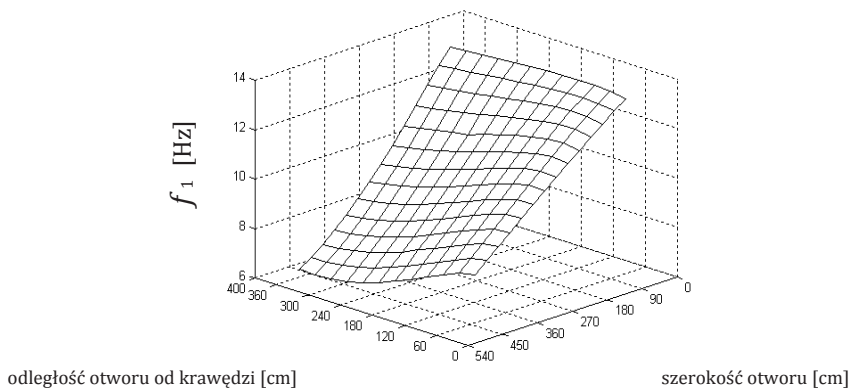
a)



b)



c)

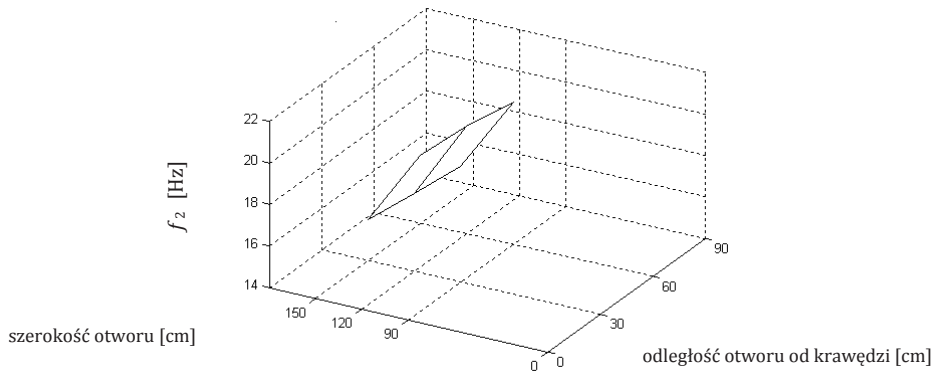


Ryc. 11. Pierwsza częstotliwość drgań własnych w zależności od szerokości i odległości otworu od krawędzi dla ściany o szerokości: a) 2,7 m, b) 5,4 m, c) 11,7 m

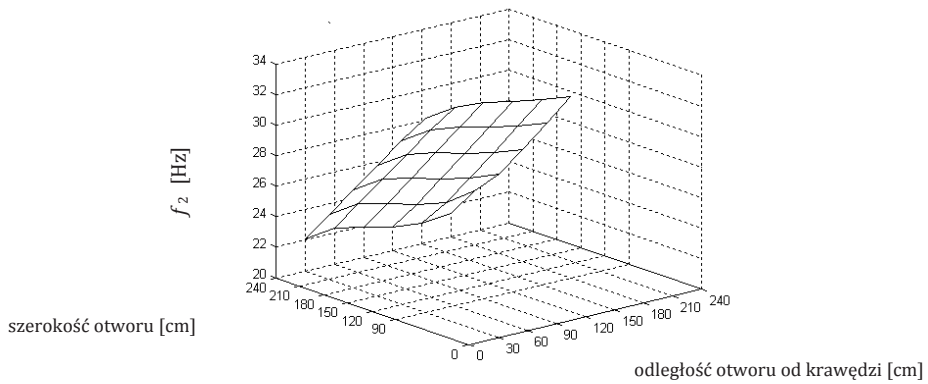
[116]

Krystyna Kuźniar, Maciej Zając

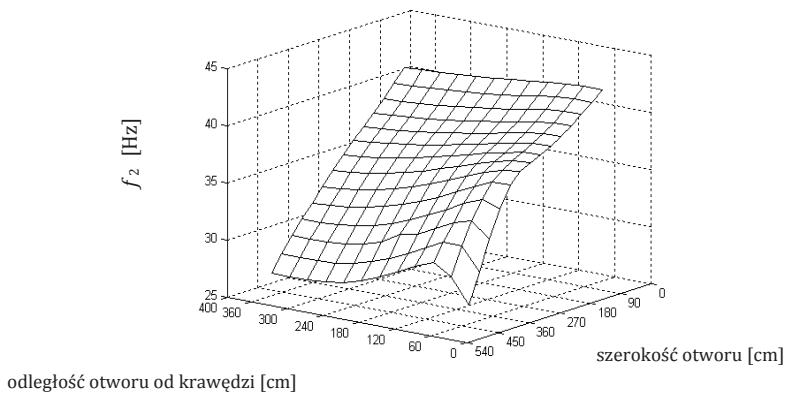
a)



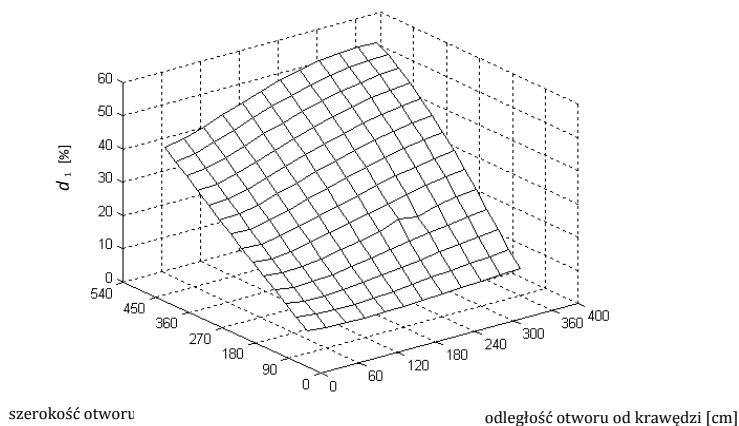
b)



c)



Ryc. 12. Druga częstotliwość drgań własnych w zależności od szerokości i odległości otworu od krawędzi dla ściany o szerokości: a) 2,7 m, b) 5,4 m, c) 11,7 m



Ryc. 13. Względna zmiana pierwszej częstotliwości drgań własnych tarczy w przypadku zmian położenia i szerokości otworów dla ściany 11,7 m

Wnioski

Oceny zmiany sztywności ścian konstrukcyjnych w wyniku przebijania, poszerzania oraz różnego położenia otworów w stosunku do krawędzi ściany dokonano poprzez badanie zmian częstotliwości drgań własnych tych ścian. Analizą objęto trzy typowe ściany, których stosunek wysokości do szerokości wynosił około 5:1, 3:1 oraz 1:1. Zgodnie z oczekiwaniami stwierdzono, że położenie i wielkość otworów wpływa istotnie na wartości częstotliwości drgań własnych ściany. W przypadku ścian „wąskich” największą zmianę sztywności powoduje umieszczenie otworów najbliżej krawędzi ściany, podczas gdy w przypadku ścian „szerokich” – w środku.

Bibliografia

- [1] Bobola K., Tatara T., *Drgania budynków prefabrykowanych podlegających działaniom parasejsmicznym*, Inżynieria i Budownictwo, **5**, 1983, s. 198–202
- [2] Cholewicki A., *Obliczanie ścian usztywniających*, COBPBO, Warszawa 1980
- [3] Cholewicki A., Chyży T., Szulc J., *Nowe otwory w ścianach konstrukcyjnych budynków wielkopłytowych*, Instrukcja 385/2003, ITB, Warszawa 2003
- [4] Ciesielski R., Kuźniar K., Maciąg E., Tatara T., *Empirical formulae for fundamental natural periods of buildings with load bearing walls*, Archives of Civil Engineering, **38**, 4, 1992, pp. 291–299
- [5] Lewandowski R., *Dynamika konstrukcji budowlanych*, Wydaw. Politechniki Poznańskiej 2006
- [6] Maciąg E., *Experimental evaluation of changes of dynamic properties of buildings on different grounds*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, **14**, 1986, pp. 925–932
- [7] Maciąg E., Kuźniar K., *The influence of ground flexibility on the fundamental frequencies of natural vibrations of medium-height buildings with load bearing concrete walls*, Archives of Civil Engineering, **39**, 2, 1993, pp. 139–151
- [8] Release 11.0 Documentation for Ansys, 2007

The analysis of the modification of load-bearing walls dynamic properties resulting from their modernization

Abstract

The paper deals with an analysis of the new door-way size and position effect on the modification of the typical medium-height load-bearing walls stiffness. The changes were estimated by the comparison of the natural frequencies of vibrations of the load-bearing walls with and without holes.

Key words: load-bearing wall, natural frequency of vibrations