

Maciej ZAJĄC*

Akademia Pedagogiczna w Krakowie

WPLYW WIELKOŚCI I POŁOŻENIA OTWORÓW NA ZMIANĘ SZTYWNOŚCI TYPOWYCH ŚCIAN KONSTRUKCYJNYCH BUDYNKÓW

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki analizy wpływu otworów, ich wielkości i położenia na zmianę sztywności typowych ścian konstrukcyjnych budynków prefabrykowanych o średniej wysokości (5-kondygnacyjnych). Oceny tych zmian dokonywano przez porównanie częstotliwości drgań własnych ścian z otworami i odpowiednich częstotliwości drgań ścian bez otworów. Rozważono ściany o szerokości 2,7 m, 5,4 m, 11,7 m i wysokości 14 m. Do obliczeń przyjęto model tarczowy ściany żelbetowej o złączach sztywnych i zamocowaniu w poziomie stropu piwnicy. Analizę numeryczną przeprowadzono metodą elementów skończonych. Stwierdzono, że tworzenie nowych otworów drzwiowych lub ich poszerzanie może mieć znaczny wpływ na zmianę częstotliwości drgań własnych, a więc także sztywności rozważanych ścian.

INFLUENCE OF THE NEW DOORS OPENING SIZE AND THEIR LOCATION ON THE MODIFICATION OF STIFFNESS IN TYPICAL MEDIUM-HEIGHT LOAD-BEAR WALLS

Summary. The paper deals with an analysis of the new doors opening 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. Three kinds of walls' size were considered: 2,7 m, 5,4 m, 11,7 m and height 14 m. The walls were modeled as reinforced concrete thin plate, fixed on a level of basement's ceiling. The computations were carried out using finite element method. It was stated that the new doors opening size and location may influence significantly on the natural frequencies of vibration modification, thus on stiffness of considered walls.

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Krystyna Kuźniar, prof. Akademii Pedagogicznej.

1. Wstęp

W ostatnich latach pojawiło się wiele nowych, różnorodnych technologii wznoszenia budynków mieszkalnych, ale w dalszym ciągu wśród już istniejących obiektów znaczącą grupę stanowią ścianowe budynki prefabrykowane (wielkopłytkowe i wielkoblokowe), w tym obiekty o średniej wysokości – pięciokondygnacyjne. Takie budynki powstawały w latach 60. 70. i 80. XX wieku. Stosowane wówczas rozwiązania coraz bardziej oddalają się od współczesnych oczekiwań mieszkaniowych. W celu podniesienia komfortu życia mieszkańców, coraz częściej obserwuje się próby modernizacji tych budynków. Jednym ze sposobów jest poszerzanie istniejących lub wybijanie nowych otworów ściennych [3].

Celem pracy jest analiza wpływu położenia i wielkości otworów na sztywność wybranych typowych ścian konstrukcyjnych budynków. Są to ściany budynków prefabrykowanych o średniej wysokości (5-kondygnacyjne). Oceny zmiany sztywności dokonano przez porównanie częstotliwości drgań własnych rozważanych ścian z otworami i odpowiednich częstotliwości ścian bez otworów.

2. Przeprowadzone obliczenia

Analizie poddano typowe ściany konstrukcyjne pięciokondygnacyjnych budynków prefabrykowanych o szerokościach: 2,7 m, 5,4 m i 11,7 m. Przyjęto grubość ścian 0,14 m oraz wysokość kondygnacji 2,8 m (wysokość ściany: $5 \times 2,8 \text{ m} = 14 \text{ m}$) jako typowe w rzeczywistych budynkach rozważanego rodzaju. 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].

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 metrów oraz masę wynikającą z 40% obciążenia zmiennego, a w poziomie stropu ostatniej kondygnacji również od stropodachu (płyty panwiowe).

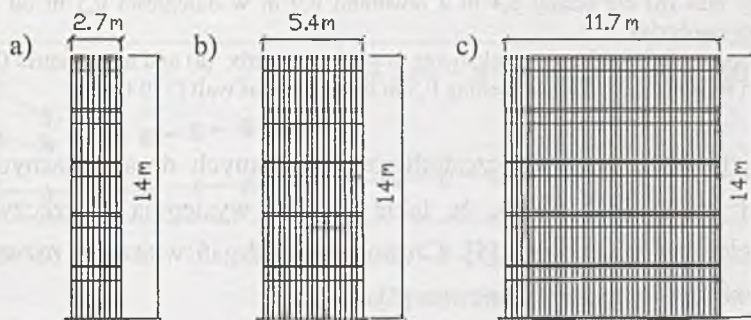
Wpływ nowych otworów, ich wielkości i położenia na zmianę sztywności analizowanych ścian konstrukcyjnych badano w przypadku pojedynczych otworów drzwiowych (0,9 m x 2 m) na każdej kondygnacji oraz dla rozmieszczenia

„systemowego” otworów. Pod pojęciem „systemowego” rozmieszczenia rozumie się serię otworów drzwiowych o wymiarach 0,9m x 2m, usytuowanych jeden nad drugim na wszystkich kondygnacjach. Rozważono położenia otworów wynikające z ich „przesuwu” względem krawędzi ściany o moduł 0,3 m aż do osiągnięcia połowy szerokości każdej ze ścian (wykorzystanie symetrii).

Dodatkowo w każdym położeniu otworów ustalonym w stosunku do krawędzi ściany „poszerzano” je kolejno o 0,3 m w zakresie 0,9 m – 2,1 m.

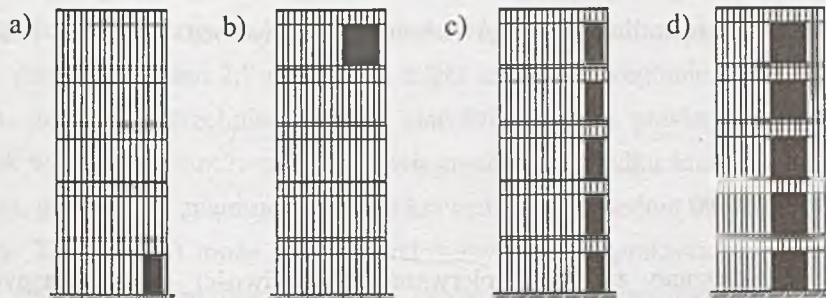
Rozważono ponad 200 różnych schematów położenia i szerokości otworów dla rozwiązania „systemowego” oraz 300 w przypadku pojedynczego otworu.

Rysunek 1 przedstawia geometrię modeli ścian pełnych (bez otworów) wraz z naniesioną siatką elementów skończonych.



Rys. 1. Geometria analizowanych ścian: a) 2,7 m x 14 m, b) 5,4 m x 14 m, c) 11,7 m x 14 m
Fig. 1. Dimensions of analysed walls: a) 2,7 m x 14 m, b) 5,4 m x 14 m, c) 11,7 m x 14 m

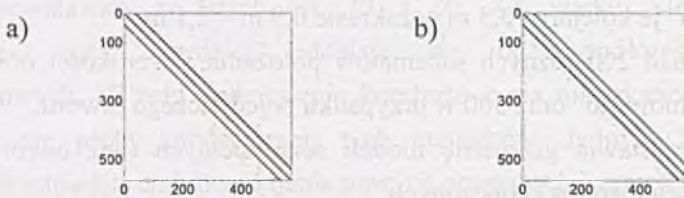
Na rys. 2 przedstawiono kilka przykładów rozmieszczenia i wielkości otworów dla ściany o szerokości 5,4 m.



Rys. 2. Przykładowe schematy rozmieszczenia otworów w ścianie 5,4 m, odpowiednio o szerokości i odległości od krawędzi: a) 0,9 m, 0,3 m, b) 1,8 m, 0,3 m, c) „systemowe” 0,9 m, 0,3 m, d) „systemowe” 1,8 m, 0,9 m

Fig. 2. Examples of locations of the new doors opening for the wall 5,4 m, properly: width and distance to the edge: a) 0,9 m, 0,3 m, b) 1,8 m, 0,3 m, c) „system” 0,9 m, 0,3 m, d) „system” 1,8 m, 0,9 m

Przyjęto tarczowy model ściany. Obliczenia wykonano metodą elementów skończonych (MES) w programie Ansys [6]. Wykorzystano 4-węzłowy element tarczowy „plate 42” o dwóch stopniach swobody w węźle oraz konsystentne macierze sztywności i mas. Sztywność elementów w miejscach otworów przyjęto bliską zeru. Przykładową postać obu macierzy schematycznie przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Graficzne przedstawienie położenia elementów niezerowych w macierzy sztywności (a) i macierzy mas (b) dla ściany 5,4 m z otworami 0,9 m w odległości 0,3 m od krawędzi (570 stopni swobody)

Fig. 3. Graphic representation of nonzero elements in stiffness matrix (a) and mass matrix (b) for the wall 5,4 m with system of doors opening 0,3 m to the edge of wall (570 DOF)

Analizą objęto dwie pierwsze częstotliwości poziomych drgań własnych ścian f_1 [Hz] i f_2 [Hz] ze względu na to, że takie drgania występują w rzeczywistych budynkach pięciokondygnacyjnych [4]. Częstotliwości drgań własnych rozważanych tarcz wyznaczone zostały metodą Lanczosa [5].

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

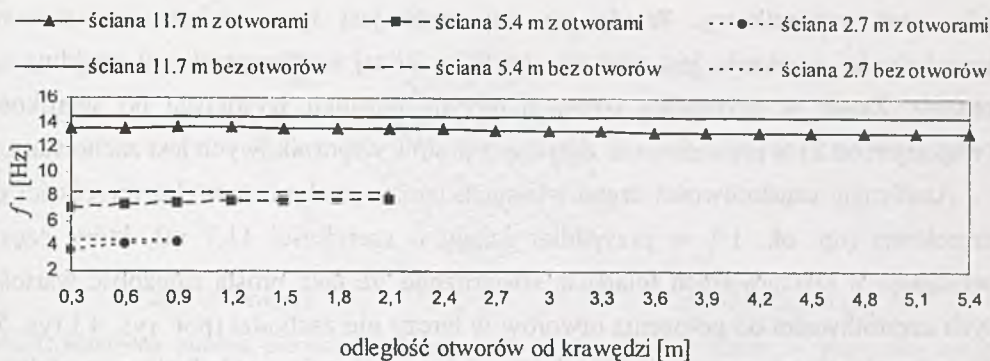
$$d_i = \frac{|\bar{f}_i - f_i|}{\bar{f}_i} \cdot 100\%, \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

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

3. Analiza wyników

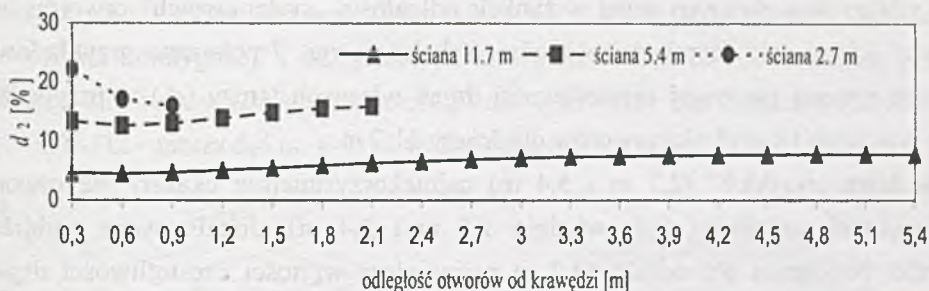
Na rys. 4 pokazano zależność pierwszej częstotliwości drgań własnych f_1 wszystkich analizowanych ścian od położenia (odległość od krawędzi tarczy) otworów o szerokości 0,9 m dla rozwiązania „systemowego”.

Z kolei rys. 5 przedstawia względne zmiany drugiej częstotliwości drgań własnych d_2 , wyliczoną zgodnie ze wzorem (1) w tych przypadkach.



Rys. 4. Wartość pierwszej częstotliwości drgań własnych ścian w zależności od położenia otworu (0,9 m)

Fig. 4. First natural frequency of walls in function of location of new door opening (0,9 m)



Rys. 5. Względna zmiana drugiej częstotliwości drgań własnych d_2

Fig. 5. Relative change of second natural frequency d_2

Stwierdzono, że położenie „systemowe” otworów względem krawędzi ściany ma znaczący wpływ na zmianę jej pierwszej i drugiej częstotliwości poziomych drgań własnych, a tym samym i sztywności konstrukcji, co było zgodne z oczekiwaniami. Największą utratę sztywności dla „systemowego” rozmieszczenia otworów obserwuje się w przypadku ścian 2,7 m i 5,4 m. Efekt ten jest szczególnie widoczny dla tarczy 2,7 m, gdzie powierzchnia otworów stanowi ok. 25% powierzchni całości. Duży spadek wartości częstotliwości drgań własnych w przypadku ścian o szerokości 2,7 m i 5,4 m, gdy otwory znajdują się blisko krawędzi (odpowiednio dla d_1 : 16% i 14% oraz dla d_2 : 22% i 13%) może być spowodowany tym, że praktycznie szerokość tarczy ulega znaczącemu zmniejszeniu, gdyż sztywność wąskiego paska między krawędzią a otworami staje się pomijalnie mała.

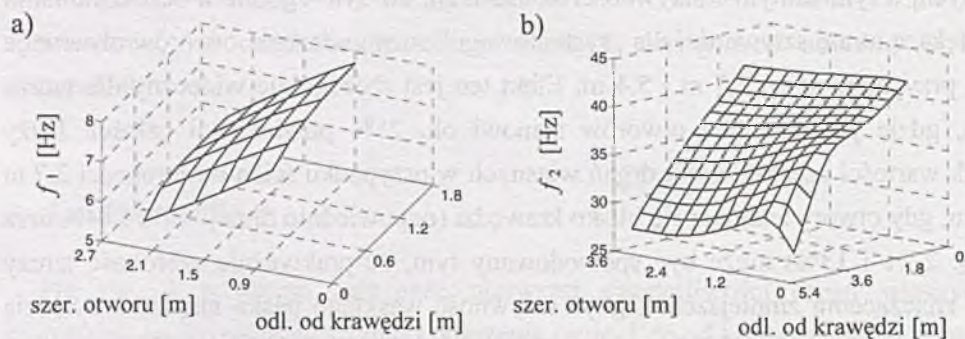
Ścianę o dużym stosunku wysokości do szerokości (np. ok. 5:1 w przypadku ściany 2,7 m lub nawet 3:1 w przypadku ściany 5,4 m) można w przybliżeniu potraktować

jako pręt wspornikowy. Wtedy jej sztywność jest tym większa, im moment bezwładności przekroju jest większy, 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. rys. 4 i rys. 5). 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].

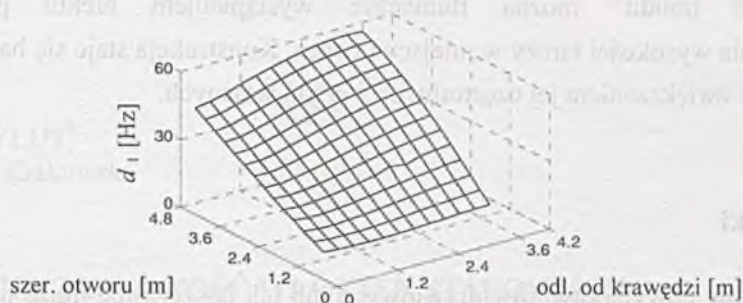
Na rys. 6 przedstawiono przykładowo wartości pierwszej i drugiej częstotliwości drgań własnych wybranych ścian w funkcji odległości „systemowych” otworów od krawędzi ściany oraz szerokości otworów. Z kolei na rys. 7 pokazano przykładowo względną zmianę pierwszej częstotliwości drgań własnych tarczy (d_1) w przypadku zmian położenia i szerokości otworów dla ściany 11,7 m.

Dla ścian „wąskich” (2,7 m i 5,4 m) najniekorzystniejsze okazały się otwory o największej szerokości (odpowiednio 1,5 m i 2,4 m) zlokalizowane najbliżej krawędzi. Natomiast dla ściany 11,7 m najmniejsze wartości częstotliwości drgań własnych występują, gdy duże otwory (4,8 m szerokości) usytuowane są blisko środka jej szerokości. Wtedy względna redukcja wartości pierwszej częstotliwości drgań własnych f_1 wynosi aż ponad 50% (rys. 7). Podobne trendy w charakterze zmian obserwowane były w przypadku otworów o szerokości 0,9 m (bez poszerzania).



Rys. 6. Częstotliwości drgań własnych w zależności od szerokości i odległości „systemowych” otworów od krawędzi: a) f_1 dla ściany 5,4 m, b) f_2 dla ściany 11,7 m

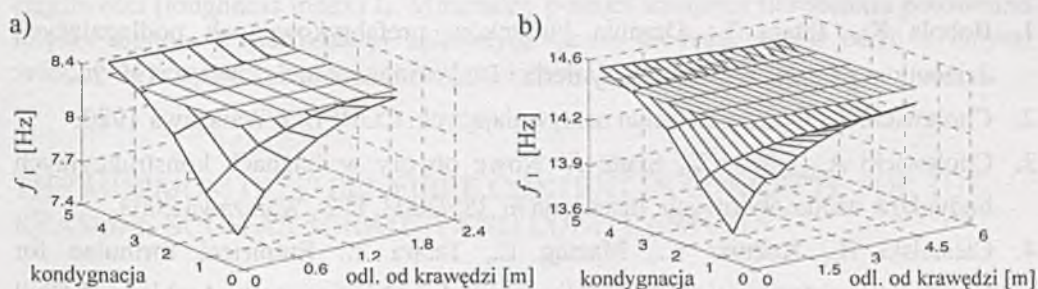
Fig. 6. Natural frequencies in function of new doors opening size and their location for „system”, a) f_1 for wall 5,4 m, b) f_2 for wall 11,7 m



Rys. 7. Względna zmiana pierwszej częstotliwości drgań własnych tarczy w przypadku zmian położenia i szerokości „systemowych” otworów dla ściany 11,7 m

Fig. 7. Relative change of the first natural frequency of plate in case of new location and size of system doors opening in the case of the wall 11,7 m

Rys. 8. przedstawia wartość pierwszych częstotliwości drgań własnych wybranych ścian z pojedynczym otworem drzwiowym 0,9 m x 2 m w zależności od położenia otworu na kondygnacji i odległości od krawędzi. Widoczne na rysunkach poziome płaszczyzny odpowiadają wartościom f_1 dla tych ścian bez otworów (odpowiednio $f_1 = 8.28$ Hz – tarcza 5,4 m, $f_1 = 14.46$ Hz – tarcza 11,7 m).



Rys. 8. Wartość pierwszych częstotliwości drgań dla pojedynczego otworu drzwiowego w zależności od kondygnacji i odległości od krawędzi ściany: a) ściana 5,4 m, b) ściana 11,7 m

Fig. 8. First natural frequency for single door opening in function of the storey and distance to wall's edge: a) wall 5,4 m, b) wall 11,7 m

W przypadku pojedynczego otworu drzwiowego, podobnie jak dla rozwiązania systemowego, największa zmiana sztywności ściany (jej spadek) występuje dla otworów zlokalizowanych najbliżej krawędzi. Dodatkowo dla wszystkich rozważanych ścian efekt ten jest najbardziej widoczny, gdy otwór znajduje się na najniższej kondygnacji i rośnie w przypadku próby poszerzania luki.

Nieznaczny (mniejszy od 1%) wzrost wartości pierwszych częstotliwości drgań własnych w stosunku do częstotliwości drgań ścian bez otworu stwierdzono w przypadku ścian z pojedynczym otworem na ostatniej kondygnacji (rys. 8). To

„zakłócenie trendu” można tłumaczyć wystąpieniem efektu praktycznego zmniejszenia wysokości tarczy w miejscu otworu. Konstrukcja staje się bardziej krępa, co skutkuje zwiększeniem jej częstotliwości drgań własnych.

4. Wnioski

Tworzenie nowych otworów drzwiowych lub ich poszerzanie może mieć znaczny wpływ na zmianę częstotliwości drgań własnych, a więc także sztywności rozważanych ścian. Dla „systemowego” usytuowania otworu zmniejszenie sztywności ściany jest szczególnie duże w przypadku otworów położonych blisko krawędzi tarcz „wąskich” (2,7 m, 5,4 m) oraz w okolicach środka dla tarcz „szerokich”. W przypadku pojedynczego otworu największy spadek sztywności wywołuje we wszystkich ścianach otwór blisko krawędzi w najniższej kondygnacji.

BIBLIOGRAFIA

1. Boboła K., Tataro T.: Drgania budynków prefabrykowanych podlegających działaniom parasejsmicznym. Inżynieria i Budownictwo, nr 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 nr 385/2003. ITB, Warszawa 2003.
4. Ciesielski R., Kuźniar K., Maciąg E., Tataro T.: Empirical formulae for fundamental natural periods of buildings with load bearing walls. Archives of Civil Engineering, Vol. 38, 1992, p. 291-299.
5. Lewandowski R.: Dynamika konstrukcji budowlanych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 2006.
6. Release 11.0 Documentation for Ansys, 2007.

Obliczenia wykonano za pomocą programu Ansys, na komputerze Jowisz w Akademickim Centrum Komputerowym AGH, na podstawie przyznanego grantu obliczeniowego nr: MNiSW/HP_I_SD/AP/007/208.