

mgr inż. Michał Kołaczkowski*
dr hab. inż. Wiesław Ligeza, prof. PK*

Aspekty konstrukcyjne modernizacji funkcjonalnej budynków wielkopłytowych

Structural aspects of functional modernization for prefabricated buildings

Budynki wielkopłytowe wybudowane w latach 1960 – 1990 są obiektami, które obecnie wymagają dostosowania do aktualnych wymagań użytkowania budynków nowo wznoszonych. Zakres kompleksowej modernizacji budynków wielkopłytowych obejmuje problematykę trwałości [12] i termomodernizacji [3] oraz aspekty konstrukcyjne związane z likwidacją uszkodzeń spowodowanych wadami wykonawczymi [8, 9, 11], a także poprawą parametrów funkcjonalno-użytkowych [6, 13, 14].

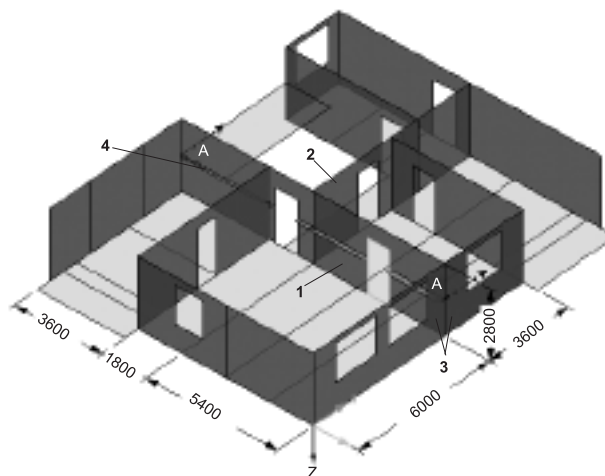
Problem modernizacji budynków wielkopłytowych w ujęciu globalnym został podjęty przez Instytut Techniki Budowlanej w 1999 r. [1], a jego reasumpcja dotycząca dostosowania do współczesnych wymagań techniczno-użytkowych jest zawarta w 12 zeszytach Poradnika ITB [5]. Modernizacja budynków wielkopłytowych w Polsce dotyczyła praktycznie jedynie termomodernizacji [15, 16], która jest objęta od 1996 r. *Rządowym programem wspierania inwestycji energooszczędnych*. Doświadczenia wskazują, że w wielu przypadkach cele termomodernizacji nie zostały osiągnięte, gdyż realizacje te obciążone są wadami wykonawczymi [7, 10].

W procesie modernizacji budynków wielkopłytowych występuje niejednokrotnie potrzeba wykonania nowych otworów komunikacyjnych w ścianach nośnych. W zależności od potrzeb szerokość otworów może wynosić od 0,9 m w przypadku nowych drzwi wewnętrznych, aż do szerokości możliwie największej przy powiększaniu otwartej przestrzeni, np. tzw. otwarcie kuchni na salon. Istnieje również potrzeba dostosowania istniejących otworów drzwiowych do wymagań osób niepełnosprawnych. Podstawy teoretyczne oraz zalecenia techniczne dotyczące wykonania nowych otworów w ścianach konstrukcyjnych budynków wielkopłytowych podane są w Poradniku ITB nr 385/2003 [2]. Wykonanie nowych otworów wymaga indywidualnej analizy obliczeniowej dotyczącej redystrybucji naprężeń w konstrukcji nośnej budynku. W artykule przedstawiono wyniki takiej analizy w ścianach nośnych 5-kondygnacyjnego budynku wielkopłyтового (system W-70), po wykonaniu w jednej ścianie poprzecznej wielu nowych otworów o zmiennej szerokości. Przedstawiono także, do dyskusji, przykład obliczenia wyłączenia skrajnego pasma ściany nośnej traktowanej, zgodnie z założeniami projektowymi, jako ściana nieusztynwiona wzdłuż krawędzi pionowej oraz z uwzględnieniem jej usztynwienia przez warstwę nośną ściany osłonowej ZWO.

Analiza obliczeniowa

Przeprowadzona analiza dotyczy poprzecznej ściany nośnej (1) pięciokondygnacyjnego budynku wielkopłyтового wybudowanego w systemie W-70 (rysunek 1). Obliczenia przeprowadzono na przestrzennym modelu MES, bazującym na dwuwymiarowych elementach skończonych płytowo-tarczowych. Model wykonano dla segmentu budynku obejmującego 5 kondygnacji nadziemnych prefabrykowanych i jedną podziemną monolityczną. W modelu uwzględniono redukcję sztywności złączy elementów prefabrykowanych na podstawie wytycznych zawartych w pracy [4]. Przyjęto kombinację obciążeń uwzględniającą obciążenia stałe oraz zmienne (obciążenie użytkowe i obciążenie śniegiem).

Nowe otwory są zlokalizowane w ścianie (1) nadziemnych kondygnacji, w osi traktu szerokości 5,4 m, pomiędzy ścianą usztynwiającą (2) i ścianami osłonowymi (3). Przyjęto zmienną szerokość otworów 0,9 – 2,4 m, zwiększając je stopniowo co 0,3 m, a wysokość otworów – 202 cm. Do obliczeń przyjęto beton klasy C12/15 o wytrzymałości na ściskanie w konstrukcji niezbrojonej $f_{cd,pl} = 6,86$ MPa ($\gamma_C = 1,4$; $\alpha_{cc,pl} = 0,8$) oraz o wytrzymałości na rozciąganie w konstrukcji niezbrojonej $f_{ctd,pl} = 0,63$ MPa ($\gamma_C = 1,4$; $\alpha_{ct,pl} = 0,8$). Nie uwzględniano zmiany parametrów betonu wynikającej z jego wieku. Przeanalizowano redystrybucję rozkładu naprężeń ściskających w kierunku pionowym w połowie wysokości

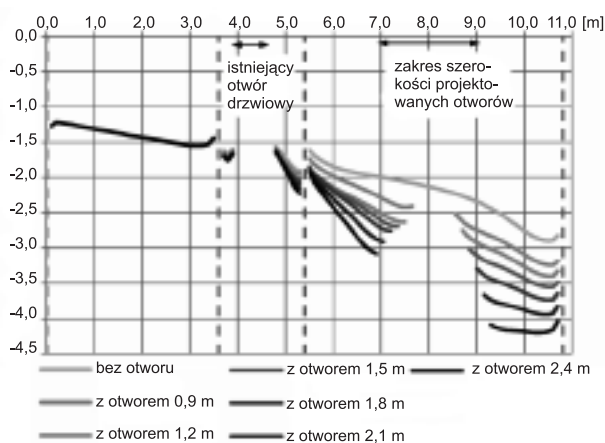


Rys. 1. Fragment kondygnacji powtarzalnej modelu obliczeniowego: 1 – analizowana ściana nośna (W) z zaznaczonym nowym otworem; 2 – ściana usztynwiająca (W) prostopadła do analizowanej ściany; 3 – ściany osłonowe (ZWO); 4 – linia przekroju, w którym wykonano wykresy naprężeń pokazane na rysunku 2

* Politechnika Krakowska

ściany na parterze – przekrój (4) oraz głównych naprężeń rozciągających w strefie nadproża projektowanego otworu. Analiza dotyczyła stanu przed modernizacją (z jednym otworem drzwiowym pomiędzy ścianami usztywniającymi) oraz stanu po wprowadzeniu dodatkowych otworów o zmiennej szerokości, w kondygnacjach nadziemnych, w trakcie pomiędzy ścianą usztywniającą (2) i ścianami osłonowymi (3).

Rozkłady naprężeń ściskających w kierunku pionowym w ścianie (1), przed modernizacją i po modernizacji polegającej na wykonaniu otworów w nadziemnych kondygnacjach, przedstawiono na rysunku 2. W analizowanym przypadku, zarówno przed modernizacją, jak i po modernizacji, największe naprężenia występują w skrajnym paśmie, w trakcie pomiędzy ścianą usztywniającą (2) i ścianami osłonowymi ZWO (3). Spowodowane jest to kierunkiem rozpięcia stropów w traktach przyległych do analizowanej ściany (1) oraz krawędziowym obciążeniem przekazywanym ze ścian osłonowych ZWO (3). Widoczna na wykresie nieciągłość wartości naprężeń, w strefie złączy pionowych (linia przerywana), jest efektem przyjęcia w modelu redukcji sztywności na ścinanie w złączach pionowych. Po wykonaniu otworów obserwujemy wzrost naprężeń praktycznie tylko pomiędzy otworem drzwiowym istniejącym i ścianami ZWO (3). Największy wzrost jest w paśmie skrajnym, pomiędzy nowym otworem i złączem pionowym ZWO-W-ZWO (3).



Rys. 2. Rozkład naprężeń ściskających w kierunku pionowym [MPa] na szerokości ściany [m], przy zmiennej szerokości otworu. Liniami przerywanymi zaznaczono lokalizację złączy pionowych z dochodzącymi ścianami prostopadłymi

W przypadku prawidłowej współpracy ścian w umonolitycznionym złączu pionowym ZWO-W-ZWO, ściana ZWO może mieć korzystny wpływ na nośność pasma ściany W przez usztywnienie jego krawędzi. Zgodnie z p. 12.6.5.1 PN-EN 1992-1-1:2008 ściany ZWO o niewadliwych złączach można uważać za ściany usztywniające, ponieważ:

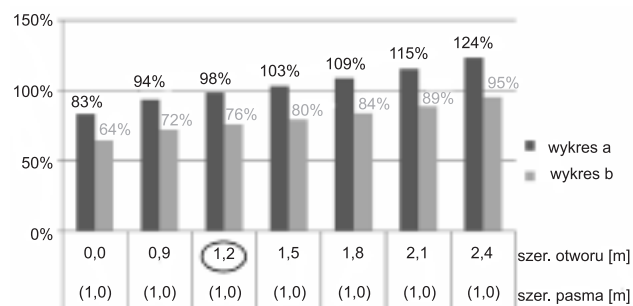
- grubość warstwy nośnej ściany ZWO (usztywniającej) wynosi 8 cm i jest większa niż połowa 15 cm grubości usztywnianej ściany nośnej W;
- ściana usztywniająca ma taką samą wysokość jak usztywniana ściana nośna W;
- otwory w ścianach ZWO znajdują się poza długością ściany równą 1/5 wysokości w świetle usztywnianej ściany W.

W przypadku wadliwie wykonanych złączy pionowych ZWO-W-ZWO, np. rysy strukturalne, [9, 11] należy pomijać współpracę pasma ściany W ze ścianami osłonowymi

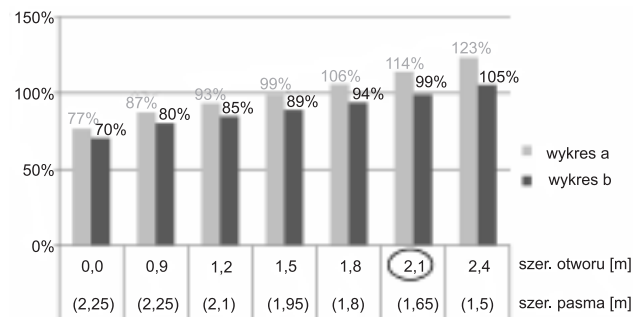
ZWO i traktować to pasmo jako nieusztywnione wzdłuż krawędzi pionowej zgodnie z PN-EN 1992-1-1:2008.

W celu porównania obliczono wyężenie analizowanej ściany nośnej (1), jako usztywnionej jedynie wzdłuż dwóch poziomych krawędzi przez stropy (bez usztywnienia krawędzi pionowej) oraz alternatywnie, jako usztywnioną dodatkowo wzdłuż pionowej krawędzi przez ścianę ZWO. Obliczenia nośności ściany przeprowadzono z uwzględnieniem wpływu efektów II rzędu przy użyciu metody uproszczonej obliczania ścian niebrojonych wg PN-EN 1992-1-1:2008. Przyjęto parametry geometryczne ściany systemowej oraz wartość mimośrodów całkowitych $e_{tot} = 20$ mm. W celu sprawdzenia maksymalnie wyężonych pasm ściennych, przy założeniu braku usztywnienia krawędzi pionowej oraz przy jego uwzględnieniu, rozpatrzono pasmo ściany szerokości 1 m o maksymalnych naprężeniach średnich oraz pasmo o zmiennej szerokości – od krawędzi nowego otworu do krawędzi zewnętrznej. Wyniki obliczeń wyężenia ściany przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

W przypadku ściany nieusztywnionej wzdłuż krawędzi pionowych najbardziej wyężonym pasmem ściany jest pasmo o największych średnich naprężeniach. W przypadku ściany usztywnionej wzdłuż krawędzi pionowej wyężenie pasma zależy nie tylko od wartości naprężeń, lecz także jest związane z jego odległością od usztywnionej krawędzi. Przy założeniu braku współpracy ściany ZWO dopuszczalna szerokość nowego otworu w osi ściany, ze względu na wyężenie strefy między stropami, wyniosła 1,2 m (rysunek 3, wykres a). Przy uwzględnieniu współpracy ściany ZWO dopuszczalne okazało się wykonanie otworu o szerokości równej 2,1 m (rysunek 4, wykres b).



Rys. 3. Wartości wyężenia pasma ściany nośnej o maksymalnych średnich pionowych naprężeniach ściskających, w zależności od szerokości otworu: a) bez uwzględnienia usztywnienia pionowej krawędzi ściany; b) z uwzględnieniem usztywnienia pionowej krawędzi ściany



Rys. 4. Wartości wyężenia pasma ściany nośnej o zmiennej szerokości, w zależności od szerokości otworu: a) bez uwzględnienia usztywnienia pionowej krawędzi ściany; b) z uwzględnieniem usztywnienia pionowej krawędzi ściany

W dalszej kolejności wykonano obliczenia ze względu na wytrzymałość strefy nadproża nowego otworu w ścianie (1) – rysunek 1. W obliczeniach nie uwzględniono współpracy przy zginaniu strefy nadprożowej ściany z wieńcem żelbetowym. Maksymalną dopuszczalną szerokość otworu w ścianie ustalono z warunku nieprzekroczenia przez naprężenia główne wytrzymałości na rozciąganie betonu w konstrukcji niezbrojonej. W analizowanym przypadku dopuszczalna szerokość otworu wyniosła 0,9 m, co stanowi większe ograniczenie szerokości nowego otworu niż ze względu na wytrzymałość strefy między stropami. W przypadku otworów o większej szerokości konieczne jest zaprojektowanie wzmocnienia części nadprożowej.

Wnioski

Na bezpieczeństwo konstrukcji budynku wielkopłytkowego, po wprowadzaniu nowych otworów w ścianach nośnych, poza szerokością otworów istotny wpływ ma ich lokalizacja w rzucie (odległość od wolnych krawędzi ścian oraz od ścian prostopadłych). Ściany prostopadłe do ściany z projektowanymi nowymi otworami pełnią dwie podstawowe funkcje. Pierwszą z nich jest współpraca przy przekazywaniu obciążeń, a mianowicie przejście części obciążeń ze stropu bezpośrednio nad rozpatrywanymi ścianami oraz współpraca przy przejściu sił ściskających z kondygnacji powyżej. Drugą jest funkcja usztywnienia rozpatrywanego pasma ściennego. Pierwsza z wymienionych funkcji pełniona jest jedynie przez ściany nośne. Rozpatrując drugą funkcję ścian prostopadłych – czyli rolę ścian usztywniających, dopuszczalne jest wzięcie pod uwagę warstwy nośnej ściany osłonowej ZWO (system W-70). Uwzględnienie współpracy ściany osłonowej znacznie zwiększa nośność usztywnionej ściany nośnej W i umożliwia wykonanie nowych otworów o większej szerokości i pozostawienie węższego przykrawędziowego pasma ściany nośnej. Stwierdzenie możliwości uwzględnienia współpracy ściany osłonowej należy każdorazowo do projektanta konstrukcji, po ocenie jakości prefabrykatu ściany nośnej W, warstwy nośnej ściany ZWO oraz złącza ZWO-W-ZWO, na podstawie ekspertyzy wykonanej indywidualnie dla konkretnego obiektu. W szczególnych przypadkach korzystna może okazać się odpowiednia naprawa złącza w celu usztywnienia krawędzi ściany nośnej [8], w której planowany jest otwór w sąsiedztwie ściany zewnętrznej.

W przypadku uwzględnienia usztywnienia ściskanej ściany nośnej, pasmem decydującym o jej wytrzymałości może być pasmo o wyższych naprężeniach średnich zlokalizowane bliżej krawędzi usztywnionej lub pasmo o niższych naprężeniach średnich, lecz zlokalizowane dalej od krawędzi usztywnionej. Ponadto należy zwracać uwagę na to, że ściana nośna, w której jest projektowany nowy otwór, może również pełnić funkcję ściany usztywniającej. Wykonując otwór, można pozbawić usztywnienia ścianę prostopadłą na skutek zmniejszenia długości ściany usztywniającej poniżej minimum podanego w PN-EN 1992-1-1:2008. Przeprowadzona analiza wskazuje także, że w przypadku braku wzmocnienia strefy nadprożowej nad nowym otworem, niewielka wytrzymałość betonu na rozciąganie może mieć decydujące znaczenie przy ustalaniu dopuszczalnej szerokości otworu. Sposób wzmocnienia oraz analiza zakresu pojawienia się rys w strefie nadprożowej ściany betonowej stanowią osobne za-

gadnienie nieobjęte zakresem artykułu. Oprócz opisanych skutków wykonania nowych otworów w ścianach nośnych należy wziąć pod uwagę również wpływ nowych otworów na zmniejszenie sztywności ustroju konstrukcyjnego przy oddziaływaniu sił poziomych, np. wiatru. Wpływ ten ma tym większe znaczenie, im większa jest szerokość projektowanych otworów oraz im mniej ścian współtworzy ustrój usztywniający w kierunku równoległym do ściany z otworami. Analiza wpływu nowych otworów na sztywność przestrzenną budynku została przedstawiona w Poradniku ITB nr 385/2003.

Abstract

The paper presents theoretical analysis for possibility of making new door openings in load-bearing walls for existing five-storey prefabricated building (constructed in W-70 system). Analysis was conducted on the basis of author's own computer models with taking into account co-operation degree between ZWO type curtain wall and load-bearing wall.

Literatura

- [1] Brunarski L. A., Wierzbicki St. M. (red.): Możliwości techniczne modernizacji budynków wielkopłytkowych na tle ich aktualnego stanu. Konferencja naukowo-techniczna ITB, Mragowo, 3 – 5 listopada 1999.
- [2] Cholewicki A., Chyży T., Szulc J.: Nowe otwory w ścianach konstrukcyjnych budynków wielkopłytkowych. Poradnik ITB nr 385/2003.
- [3] Kasperkiewicz K., Pogorzelski J. A.: Termomodernizacja budynków wielkopłytkowych, [w:] Możliwości techniczne modernizacji budynków wielkopłytkowych na tle ich aktualnego stanu (red.) L. A. Brunarski, St. M. Wierzbicki, Konferencja naukowo-techniczna ITB, Mragowo, 3-5 listopada 1999, s. 73 – 96.
- [4] Lewicki B. i współautorzy: Cholewicki A., Gałkowski Z., Henclewski T., Kotlicki W., Pawlikowski J., Pogorzelski A., Zarzycki A., Zieleniewski S.: Budynki wznoszone metodami uprzemysłowionymi, Arkady, Warszawa 1979.
- [5] Lewicki B., Brunarski L. A. (red.): Budynki wielkopłytkowe – wymagania podstawowe. Poradnik ITB, z. 112. Warszawa 2002, 2003.
- [6] Lewicki B., Zieliński J. W., Cholewicki A., Kawulok M.: Bezpieczeństwo konstrukcji istniejących budynków wielkopłytkowych i możliwości ich modernizacji, [w] Możliwości techniczne modernizacji budynków wielkopłytkowych na tle ich aktualnego stanu (ed.) L. A. Brunarski, St. M. Wierzbicki, Konferencja naukowo-techniczna ITB, Mragowo, 3 – 5 listopada 1999, s. 107 – 120.
- [7] Ligęza W.: Wykonawstwo jako czynnik trwałości ocieplenia budynków wykonywanego metodą lekko-mokrą. Przegląd Budowlany nr 12/2005, 16 – 22.
- [8] Ligęza W.: Naprawa i wzmocnianie budynków z wielkiej płyty. XXI Ogólnopolska Konferencja „Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji”, t. II. Wyd. Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa Oddział w Gliwicach, 2006, s. 217 – 259.
- [9] Ligęza W.: Problemy uszkodzeń i napraw budynków z wielkiej płyty, Materiały Budowlane 12/2006, s. 32 – 33, 36.
- [10] Ligęza W.: Systematyka wad wykonawczych ocieplania budynków metodą bezspoinową. Materiały Budowlane, 1/2007, s. 35 – 37, 55.
- [11] Ligęza W., Płachecki M.: Uszkodzenia złączy w ścianach osłonowych budynków wielkopłytkowych, Inżynieria i Budownictwo nr 4-5/2000, s. 204 – 208.
- [12] Ścisławski Z., Suchan M.: Trwałość i utrzymanie budynków wielkopłytkowych, Inżynieria i Budownictwo nr 3/2000, s. 133 – 136.
- [13] Zieliński J. W.: O możliwościach modernizacji konstrukcji budynków wielkopłytkowych, Inżynieria i Budownictwo nr 3/2000, s. 129 – 130.
- [14] Zieliński J. W.: Modernizacja budynków wielkopłytkowych z uwzględnieniem doświadczeń zagranicznych, Materiały Budowlane, nr 1/2001, s. 2 – 5.
- [15] Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków. Instrukcja ITB nr 334/2002.
- [16] Ocieplanie ścian zewnętrznych metodą lekką. Instrukcja ITB nr 334/1996.