

# Rozwiązanie przegrody wibroizolacyjnej w budynku zabytkowym narażonym na drgania wywołane ruchem kołowym i szynowym

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wilde, dr hab. inż. Magdalena Rucka,  
prof. dr hab. inż. Jacek Chrościelewski, dr inż. Maciej Niedostatkiewicz  
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Na stan techniczny obiektu budowlanego wpływają takie czynniki jak: jakość dokumentacji projektowej, jej realizacja zgodnie z zasadami wiedzy technicznej oraz właściwa eksploatacja obiektu. Na docelową eksploatację obiektu oraz powstawanie uszkodzeń istotny wpływ mają błędy projektowe oraz wykonawcze. Poprawne uwzględnienie warunków lokalizacyjnych na etapie prac projektowych przyczynia się do ograniczenia uszkodzeń budynku w okresie jego użytkowania [3, 4, 5]. W przypadku budynków objętych ochroną konserwatora zabytków naprawa uszkodzeń jest dodatkowo utrudniona koniecznością stosowania rozwiązań projektowych, które nie obniżają wartości estetycznej oraz nie wpływają negatywnie na wartość historyczną obiektu.

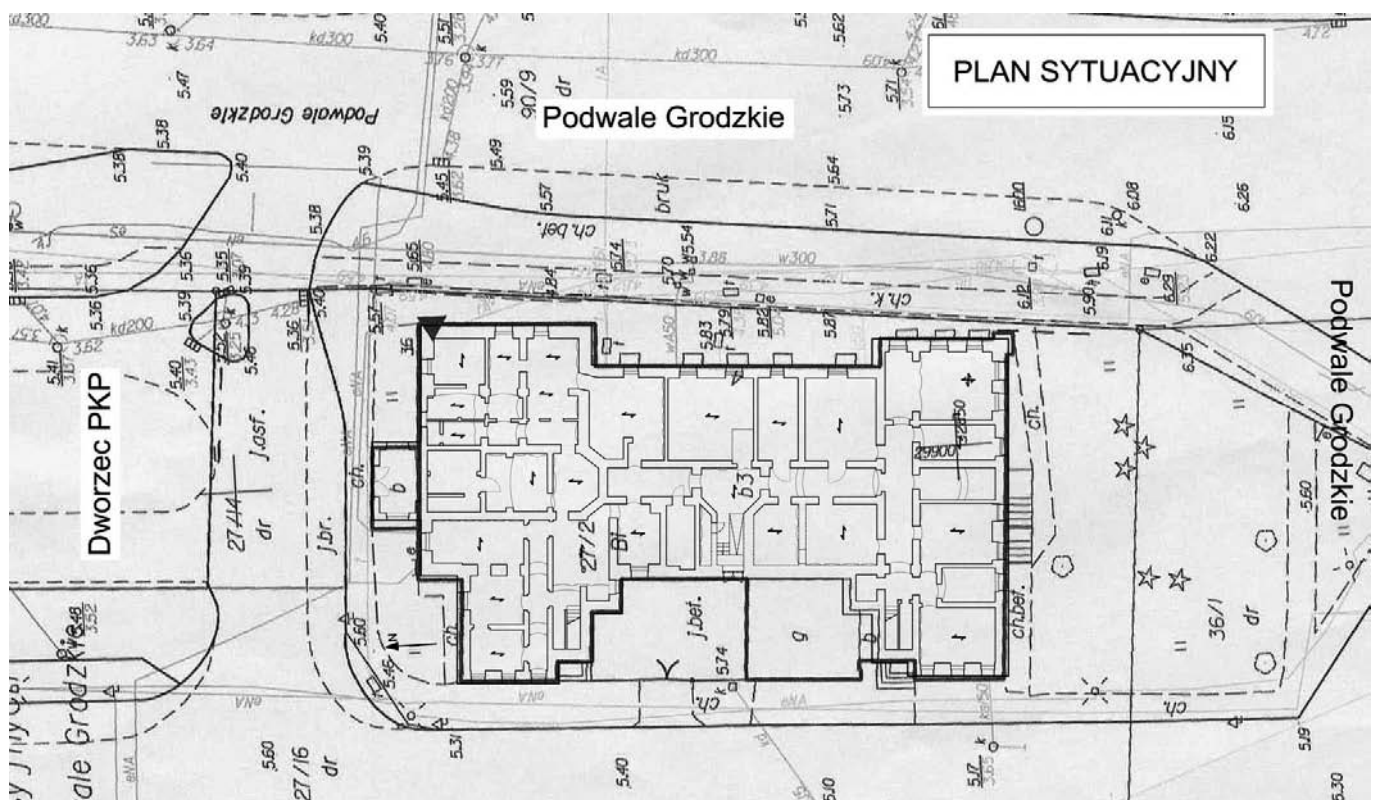
Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wpływu drgań komunikacyjnych na stan techniczny murów zabytkowego budynku użyteczności publicznej, który miał być poddany zmianie sposobu użytkowania zgodnie z planowanym do realizacji zamierzeniem inwestycyjnym. Rozważany w pracy budynek, usytuowany przy ulicy Podwale Grodzkie w Gdańsku (rys. 1), zrealizowano w końcu XIX wieku w technologii tradycyjnej, jako rozczłonkowany w rzucie poziomym, kształtem zbliżony do litery C. Budynek znajduje się w pobliżu stacji PKP Gdańsk Główny. W bezpośrednim sąsiedztwie budynku od stro-

ny elewacji północnej i zachodniej są usytuowane wewnętrzne drogi dojazdowe, natomiast od strony elewacji wschodniej jest usytuowana ulica trzypasmowa Wały Jagiellońskie z torem tramwajowym. Budynek jest wpisany do rejestru zabytków, w związku z czym wskazanie ramowego programu prac związanych z doprowadzeniem budynku do właściwego stanu technicznego musiało uzyskać zgodę właściwego terenowo konserwatora zabytków.

## OPIS USZKODZENIA MURÓW

Uszkodzenia występujące w budynku, oprócz dekapitalizacji eksploatacyjnej w okresie minionym jako następstwo braku prowadzenia remontów okresowych, uległy rozszerzeniu ze względu na długoterminowe wyłączenie budynku z użytkowania. Aktualnie, uszkodzenia budynku skupione są wokół stropów międzykondygnacyjnych oraz murów.

Na ścianach murowanych widoczne są liczne zarysowania i pęknięcia (rys. 2), jednak na powierzchni murów brak jest śladów, których morfologia wskazywałaby na przekroczenie nośności elementów konstrukcji murowych. Na części elewacji, w szczególności południowej oraz wschodniej, występują ukośne



Rys. 1. Położenie obiektu na planie sytuacyjnym



Rys. 2. Uszkodzenia murów (widok od strony wnętrza budynku oraz widok od strony elewacji zewnętrznych)

zarysowania murów zewnętrznych. Uszkodzenia te występują nad łękami okiennymi i przybierają postać zarysowań kształtem zbliżonym do litery X lub  $\frac{1}{2}X$  [7], czyli kształtem wskazującym na uszkodzenia spowodowane obciążeniami sejsmicznymi lub parasejsmicznymi [7]. Kształt rys i pęknięć wskazuje, że są to uszkodzenia pochodzenia dynamicznego, powstałe w wyniku przenoszenia się drgań przez podłoże gruntowe i oddziaływania tych drgań na konstrukcję budynku. Typowym uszkodzeniem murów jest także powstawanie rys na załamaniach murów, gdzie w wyniku złożonej dynamiki obiektu następuje koncentracja naprężenia.

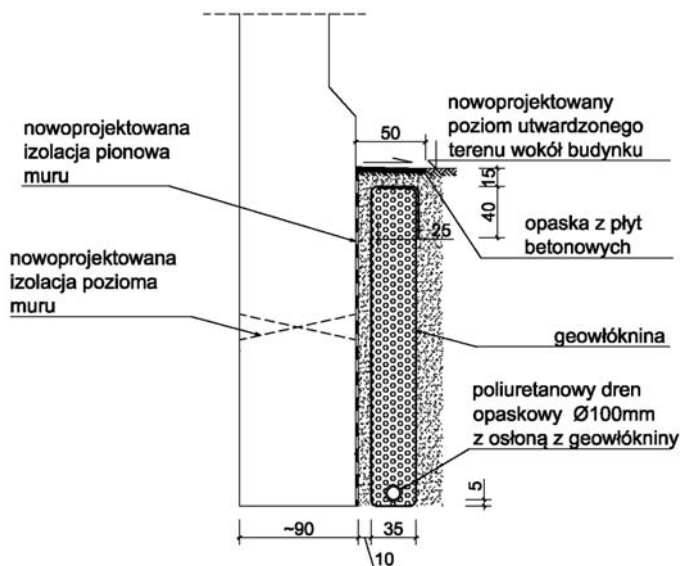
### KONCEPCJA ROZWIĄZANIA PROJEKTOWEGO WIBROIZOLACJI

W celu odizolowania budynku od źródeł drgań przewidziano wykonanie przepony gruntowej (wibroizolacyjnej) dookoła całego budynku (rys. 3, 4), której zadaniem jest „przechwycenie” fali naprężeniowej penetrującej w postaci drgań podłoża grunto-ego bezpośrednio w strefie przypoверхniowej.

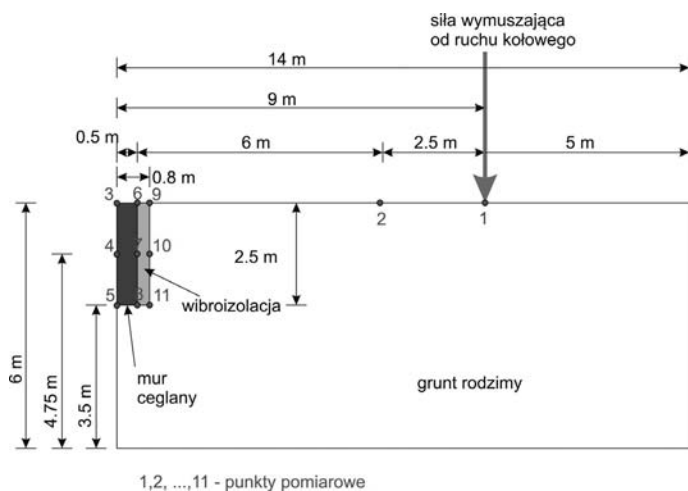
Jako materiału tłumiącego przegrody wibroizolacyjnej, zdecydowano się użyć specjalnie dobranej frakcji kruszywa lekkiego. Impuls dynamiczny, będący elementem wzbudzenia propagującej fali parasejsmicznej, wywołany ruchem komunikacyjnym (zarówno kołowym, jak i szynowym) powoduje wzajemne przemieszczanie się frakcji kruszywa lekkiego, co umożliwi rozproszenie znacznej części energii drgań poprzez tarcie. Ze względu na możliwość powstającego w czasie zawilgocenia kruszywa lekkiego, co obniżyłoby skuteczność działania przepony, przewidziano podłączenie przepony do systemu drenów zaprojektowanych w poziomie spodu cokołów fundamentowych. Przekrój przez przeponę wibroizolacyjną pokazano na rys. 3, natomiast szkic koncepcji rozmieszczenia wibroizolacji wokół budynku przedstawiono na rys. 4.

### OBLICZENIA PARAMETRÓW WIBROIZOLACJI

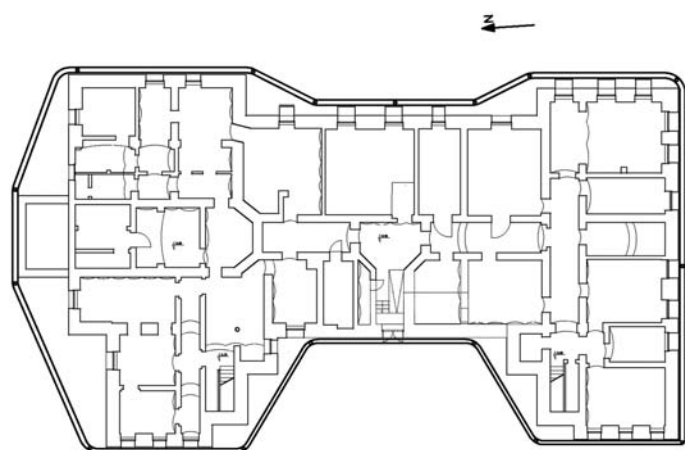
We wcześniejszych pracach obliczenia konstrukcji zagłębionych w gruncie pod działaniem obciążenia parasejsmicznego były wykonywane na przykład dla konstrukcji metra modelem



Rys. 3. Sposób zabezpieczenia budynku przed drganiami powstającymi w wyniku ruchu komunikacyjnego: przekrój przez przeponę



Rys. 5. Model fragmentu gruntu z murem ceglany



Rys. 4. Rozmieszczenie przegrody wibroizolacyjnej na rzucie obiektu

płaskim [1], czy też dla całego przestrzennego budynku [2]. W niniejszej pracy obliczenia propagacji fal sprężystych w podłożu gruntowym wykonano Metodą Elementów Spektralnych (MESp) [6]. Jest to metoda przeznaczona do rozwiązywania zagadnień falowych i umożliwia szybsze obliczenia bez utraty ich dokładności w stosunku do standardowej Metody Elementów Skończonych (MES).

Problem sformułowano w płaskim stanie odkształcenia. Model fragmentu podłoża gruntowego wraz z fragmentem muru ceglany przedstawiono na rys. 5. Model ma wymiary  $14 \times 6$  m. Do jego wykonania zastosowano 8400 elementów spektralnych ( $140 \times 60$  elementów), każdy z elementów ma  $11 \times 11$  węzłów rozłożonych zgodnie z punktami wyznaczonymi regułą całkowania Gauss-Lobatto-Legendre. Liczba wszystkich węzłów w siatce wynosi 842001, co daje 1684002 stopni swobody. Siła wymuszająca pochodząca od ruchu kołowego jest przyłożona w odległości 8,5 m od ściany muru budynku. Parametry modelu wyznaczono na podstawie pomiarów drgań obiektu i propagacji fal sprężystych w gruntach otaczających budynek.

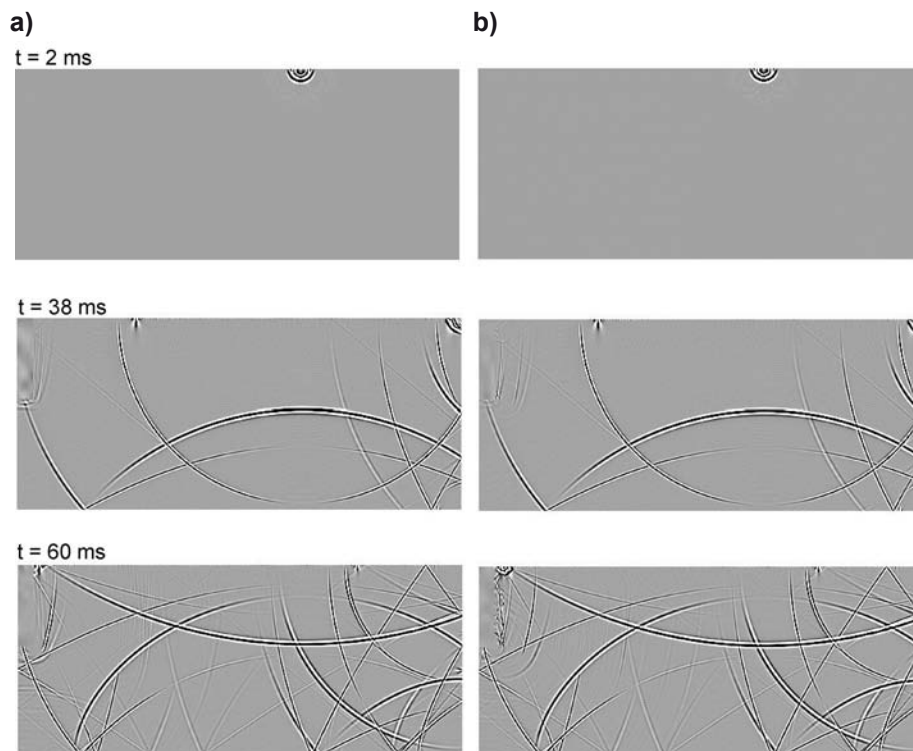
Wymuszenie wywołane ruchem kołowym lub szynowym powoduje propagację fal podłużnych, poprzecznych oraz powierzchniowych fal Rayleigha. Wizualizację propagacji fal sprężystych w modelu bez wibroizolacji w poszczególnych chwilach czasowych przedstawiono na rys. 6a, natomiast dla modelu z wibroizolacją wizualizację w wybranych chwilach czasowych pokazano na rys. 6b. Fale podłużne i poprzeczne propagują w głębi podłoża gruntowego i po dotarciu do ściany powodują drgania muru ceglany.

Przebiegi czasowe przyspieszeń wyliczono w punktach 1 do 11, pokazanych na rys. 5. Na rys. 7 widoczne są przebiegi czasowe przyspieszeń pionowych obliczonych w punktach 10, 7 oraz 4. Punkt 10 położony jest na zewnętrznej warstwie wibroizolacji od strony gruntu, punkt 7 między murem a wibroizolacją, natomiast punkt 4 położony jest po wewnętrznej stronie muru. Przyspieszenia obliczono dla przypadku bez wibroizolacji oraz dla przypadku z wibroizolacją. Po zastosowaniu wibroizolacji widoczny jest ponad trzykrotny spadek wartości amplitudy przyspieszenia drgań.

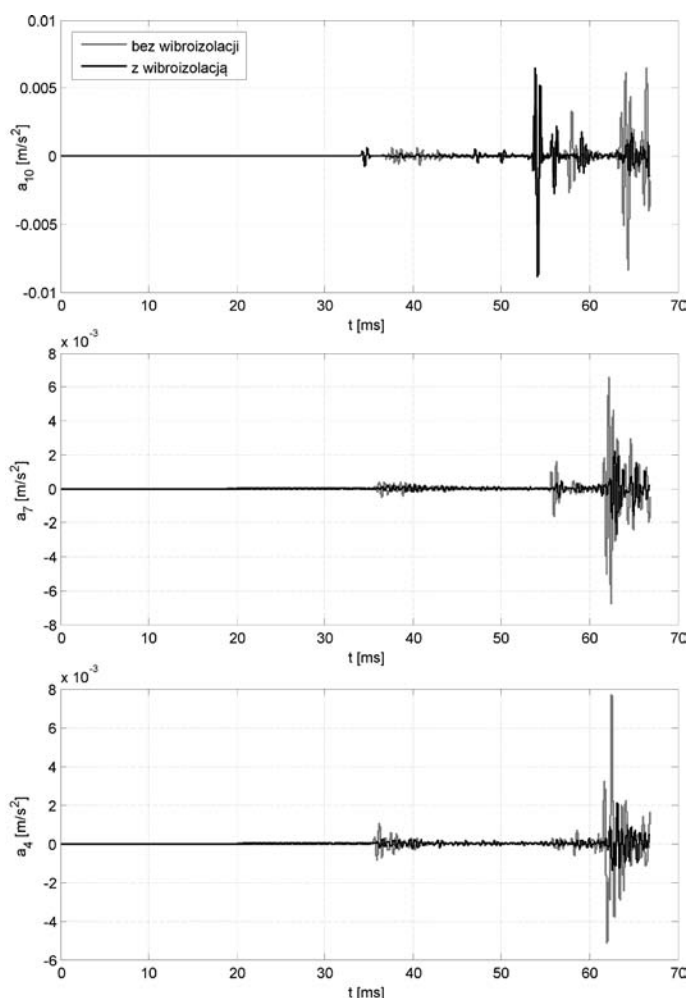
Parametryczne symulacje numeryczne wskazały, że minimalna grubość przegrody wibroizolacyjnej od strony ulicy Podwale Grodzkie powinna wynosić 35 cm, a od strony torów kolejowych (od strony elewacji zachodniej) zaleca się wstawienie wibroizolacji o grubości około 25 cm.

## WNIOSKI

Objęty analizą budynek charakteryzuje się dekapitalizacją eksploatacyjną powstałą w okresie minionym. Występujące drgania dynamiczne powstające od ruchu komunikacyjnego przyczyniły się do rozszerzenia uszkodzeń części murów zarówno zewnętrznych, jak również wewnętrznych i spowodowały zarysowanie murów podłużnych w miejscu styku ze ścianami poprzecznymi, jak również samych murów poprzecznych. W pracy zaproponowano ograniczenie negatywnego wpływu drgań komunikacyjnych na konstrukcje murów poprzez wykonanie przepony wibroizolacyjnej zabezpieczającej obiekt przed penetracją przygruntowych fal sprężystych powstających w wyniku poruszania się pojazdów mechanicznych. Podstawo-



Rys. 6. Wizualizacja propagacji fal w wybranych chwilach czasowych a) model bez wibroizolacji, b) model z wibroizolacją



Rys. 7. Porównanie przyspieszeń pionowych w punktach 10, 7, 4 w modelu bez wibroizolacji oraz z wibroizolacją

wym elementem tłumiącym jest materiał kompozytowy złożony głównie z kruszywa lekkiego.

Prace nad wykonaniem przegrody wibroizolacyjnej są w trakcie realizacji. Po wykonaniu przegrody będą wykonane badania referencyjne pozwalające na doświadczalne określenie efektywności przegrody wibroizolacyjnej w tłumieniu energii fal parasejsmicznych w strefie przypowierzchniowej.

#### LITERATURA

1. Kawecki J.: Diagnostyka dynamiczna konstrukcji zagłębionych w gruncie. XX Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła-Ustroń, 2005, 261-272.
2. Korentz J., Marcinowski J.: Analiza numeryczna drgań parasejsmicznych budynku mieszkalnego z uwzględnieniem właściwości sprężystych podłoża. Czasopismo Techniczne, 2007, z. 2-B, 75-82.
3. Małyżko L., Orłowicz R.: Konstrukcje murowe. Wzmocnienia i naprawy. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn, 2005.
4. Masłowski E., Spizewska D.: Wzmacnianie konstrukcji budowlanych. Arkady, Warszawa 2000.
5. Mitzel A., Stachurski W., Suwalski J.: Awarie konstrukcji betonowych i murowych. Arkady, Warszawa 1982.
6. Rucka M., Witkowski W., Chróścielewski J., Wilde K.: Damage detection of a T-shaped panel by wave propagation analysis in the plane stress. Archives of Civil Engineering 58(1), 2012, 3-24.
7. Zembaty Z., Jankowski R., Cholewicki A., Szulc J.: Trzęsienia ziemi w Polsce w 2004 roku. Czasopismo Techniczne, 2007, z. 2-B, 115-126.