

JANUSZ KAWECKI, KRZYSZTOF STYPUŁA*

**METODYKA POMIAROWO-INTERPRETACYJNA
WYZNACZANIA MODELU BUDYNKU PRZYDATNEGO
W OCENIE WPŁYWU DRGAŃ PARASEJSMICZNYCH
NA LUDZI**

**METHODS OF DETERMINATION OF A BUILDING MODEL
USEFUL IN EVALUATION OF PARASEISMIC VIBRATION
EFFECT ON PEOPLE**

Streszczenie

W niniejszym artykule opisano metodykę pomiarowo-interpretacyjną wyznaczenia modelu budynku, który można stosować w ocenie wpływu prognozowanych drgań parasejsmicznych na ludzi przebywających w budynku. Metodykę tę autorzy wielokrotnie już zastosowali w diagnozach dynamicznych dotyczących wpływu prognozowanych drgań parasejsmicznych na ludzi przebywających w budynkach już istniejących.

Słowa kluczowe: wpływy parasejsmiczne, wpływ na ludzi

Abstract

Measurement-interpretation methods of determination of a building model which may be applied in evaluation of prognosed paraseismic vibration influence on people in building is discussed in the paper. This method has already been frequently used in dynamic diagnoses of influence of prognosed paraseismic vibrations on people inside already existing buildings.

Keywords: dynamic influences, influences on people

* Prof. dr hab. inż. Janusz Kawecki, dr hab. inż. Krzysztof Stypuła, prof. PK, Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

W diagnostyce wpływów dynamicznych na budynki i ludzi przebywających w budynkach stosuje się wyniki pomiarów dynamicznych, które przeprowadzane są z uwzględnieniem wymagań podanych w normach [4, 5]. Jeżeli diagnoza dynamiczna dotyczy budynków objętych zakresem stosowania skal SWD, to wyniki pomiarów mogą być bezpośrednio wykorzystane w ocenie wpływu drgań na budynki oraz na ludzi w nich przebywających (por. [1–3]).

Znacznie trudniejsza jest ocena wpływu drgań na budynki i ludzi w nich przebywających w przypadku gdy diagnoza ma odnosić się do prognozowanych działań dynamicznych, które mogą wystąpić w przyszłości. Wówczas prognozowane parametry drgań budynku wyznacza się na podstawie obliczeń wykonywanych w odniesieniu do modelu obliczeniowego budynku. Konieczne jest wtedy zbudowanie modelu istniejącego budynku oraz wyznaczenie prognozowanych parametrów wymuszenia. Model budynku można wyznaczyć, stosując którąś z procedur identyfikacji dynamicznej. W procedurze identyfikacji wymagane jest przeprowadzenie badań dynamicznych obiektu poddanego znanemu działaniu dynamicznemu, akceptacja modelu i uznanie go za wystarczająco dokładną reprezentację obiektu, jeśli wielkości przyjęte w ocenie spełniają wymagania określone funkcją jakości. Kształtując model obiektu stosowanego w analizach dynamicznych, najczęściej przyjmuje się charakterystyki dynamiczne jako wielkości kształtujące funkcję jakości. W opisanej w niniejszym artykule metodyce rezygnuje się z takiego przyjęcia.

2. Założenia

Zakłada się, że budynek, w którym przebywają ludzie został już zrealizowany. Prognozowane źródło drgań parasejsmicznych jeszcze nie występuje. Możliwe jest przed uruchomieniem prognozowanego źródła drgań wprowadzenie w pobliżu budynku jakiegoś innego źródła (np. pojazdu ciężkiego poruszającego się po starej trasie komunikacyjnej) i wykonanie pomiaru drgań budynku wywołanych jego działaniem.

Przyjmuje się w analizach modelowych, że budynek podczas działań dynamicznych zachowuje się jak układ sprężysty.

Zakłada się, że na podstawie oddzielnych badań i analiz otrzymano opis prognozowanego działania dynamicznego na budynek, przedstawiony jako zapis cyfrowy wibrogramów wyrażających zmiany w czasie przyspieszenia drgań fundamentu budynku w układzie trzech współrzędnych: x , y i z .

3. Pomiary dynamiczne w metodyce pomiarowo-interpretacyjnej

W metodyce pomiarowo-interpretacyjnej przewiduje się wykonanie pomiarów dynamicznych w wybranych punktach pomiarowych – w miejscach przebywania ludzi. W danym punkcie pomiarowym rejestrowane są drgania w trzech kierunkach: x , y i z , wywołane działaniem sterowanego źródła drgań. Ze względu na stosowane w [5] parametry oceny drgań przyjmuje się, że podczas pomiaru rejestrowana jest zmiana w czasie wartości przyspieszenia drgań.

Punkty pomiarowe przyjmuje się na ścianie piwnicznej budynku w poziomie terenu oraz na stropach wybranych kondygnacji. W przypadku budynków wielokondygnacyjnych korzystnie jest, jeśli liczba posiadanych czujników na to pozwala, usytuować punkty pomiarowe nie tylko na stropie pierwszej i ostatniej (najwyżej położonej) kondygnacji, ale również na wybranym stropie pośrednim. Punkt pomiarowy, w którym rejestrowane są przyspieszenia drgań pionowych przyjmuje się w środkowej części stropu.

Zbiór wyników pomiarów dynamicznych uzyskanych zgodnie z podanym wyżej opisem stosowany jest do identyfikacji modelu budynku. Im więcej będzie danych pomiarowych, tym pełniejsza będzie identyfikacja modelu dynamicznego budynku. Z drugiej jednak strony zbyt duży zbiór danych zwiększa pracochłonność procedury identyfikacyjnej, nie zawsze prowadząc do uzyskania dokładniejszego modelu.

4. Procedura identyfikacji modelu obliczeniowego budynku

W opisanej metodyce pomiarowo-interpretacyjnej uznano za wystarczająco dokładną (ze względu na zakres zastosowania modelu obliczeniowego budynku) identyfikację, w której, w kolejnych krokach, przyjmuje się model obliczeniowy budynku i przeprowadza jego weryfikację.

Działania prowadzone w ramach tej procedury obejmują kolejno:

- a) wykonanie pomiarów dynamicznych zmian w czasie wartości przyspieszenia drgań w wybranych punktach pomiarowych podczas działania na budynek sterowanego źródła drgań;
- b) zbudowanie, na podstawie dokumentacji projektowej i oglądu budynku, jego modelu obliczeniowego i zapisanie go w używanym programie obliczeń numerycznych (np. DIANA);
- c) wyznaczenie odpowiedzi modelu budynku w miejscach lokalizacji punktów pomiarowych (wymuszeniem dynamicznym modelu budynku są drgania zarejestrowane podczas pomiaru w punkcie pomiarowym usytuowanym na ścianie piwnicznej budynku w poziomie terenu);
- d) przeprowadzenie, zgodnie z [5], analizy wibrogramów uzyskanych na podstawie obliczeń opisanych w punkcie c), tzn. przedstawienie wykresu wartości średniokwadratowych przyspieszenia drgań w pasmach 1/3 oktaawowych;
- e) przeprowadzenie, zgodnie z [5], analizy wibrogramów uzyskanych na podstawie pomiarów opisanych w punkcie a);
- f) porównanie wyników uzyskanych wg procedury opisanej w punkcie d) z wynikami otrzymanymi na podstawie procedury opisanej w punkcie e).

Na podstawie porównania wyników, o których mowa w punkcie f), przeprowadzana jest weryfikacja przyjętego w punkcie b) modelu obliczeniowego. Autorzy wykonali wiele analiz dotyczących różnych typów budynków i różnych działań dynamicznych na te budynki i na tej podstawie sformułowali następujące zalecenia odnośnie do funkcji jakości proponowanej w procedurze identyfikacji:

- Jeżeli otrzymane z zastosowaniem modelu obliczeniowego (punkt d) procedury) wartości średniokwadratowe przyspieszenia drgań w pasmach częstotliwości odpowiadających rzędnym, znacząco wpływającym na wynik oceny, są większe (czyli w diagnostyce: po stronie pewniejszej) od wyznaczonych na podstawie wibrogramu pomierzonego (punkt e)

- procedury) oraz jeśli w paśmie obejmującym największe rzędne, decydujące o wyniku prognozy, różnice między wartościami uzyskanymi wg punktu d) i punktu e) nie są większe niż dopuszczona w identyfikacji wartość (np. 50%), to założony model obliczeniowy budynku jest akceptowany i może być stosowany w obliczeniach związanych z prognozą.
- Jeżeli podane wyżej warunki nie są spełnione, to model obliczeniowy wymaga modyfikacji. Po wprowadzeniu zmiany modelu procedurę jego weryfikacji powtarza się aż do uzyskania wyników pozwalających na akceptację modelu.

5. Analizy związane z prognozowaniem wpływu drgań

Po pozytywnym zweryfikowaniu modelu obliczeniowego budynku stosuje się go w dalszych analizach dotyczących oceny prognozowanych wpływów dynamicznych na ludzi przebywających w budynku. Prognozowane wymuszenie kinematyczne budynku wyznacza się na podstawie informacji o prognozowanym źródle drgań, jego odległości od budynku, warunków podłoża itp. Wykorzystuje się przy tym bazę danych utworzoną z pomiarów własnych, przeprowadzonych w różnych warunkach występowania źródeł drgań podobnego typu.

W wyniku analizy wibrogramów obliczonych w poszczególnych punktach pomiarowych uzyskuje się wykresy wartości średniokwadratowych przyspieszenia drgań w poszczególnych pasmach częstotliwości. Na te wykresy nanosi się: linię odpowiadającą prognowi odczuwalności drgań oraz linię informującą o warunkach zapewnienia odpowiedniego komfortu ludziom przebywającym w pomieszczeniu o zadanym przeznaczeniu. Na tej podstawie ocenia się spełnienie warunków zapewnienia ludziom wymaganego komfortu.

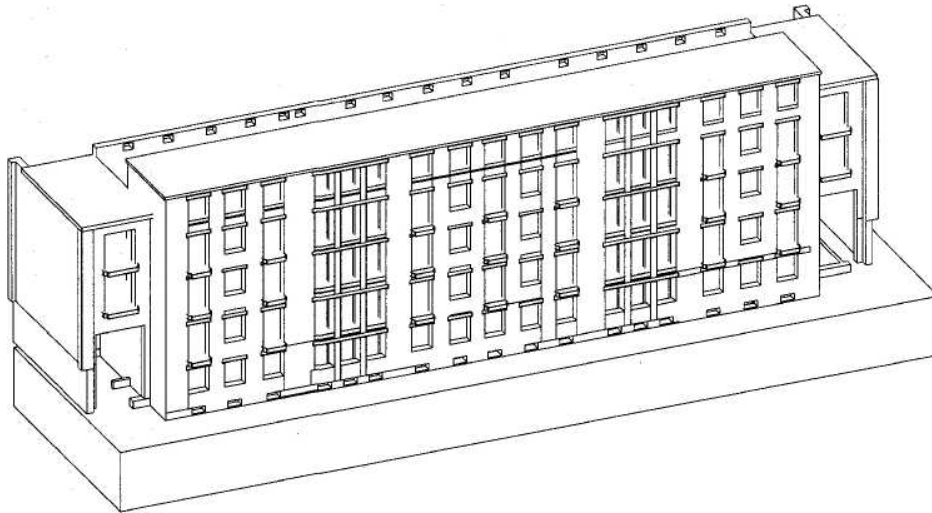
6. Przykład zastosowania metodyki pomiarowo-interpretacyjnej

Poniżej przedstawiono zastosowanie, opisanej poprzednio, metodyki pomiarowo-interpretacyjnej na przykładzie czteropiętrowego budynku mieszkalnego, którego model zaprezentowano na ryc. 1.

Jest to obiekt o ścianach murowanych z cegły pełnej i o stropach gęstożebrowych DMS. Znajduje się on w odległości ok. 9 m od istniejącej jezdni. Prognozowanym źródłem drgań mają być przejazdy pociągów metra w tunelu usytuowanym w odległości ok. 25 m od budynku. Zadanie polega na opracowaniu prognozy wpływu drgań generowanych przez metro na ludzi przebywających w budynku.

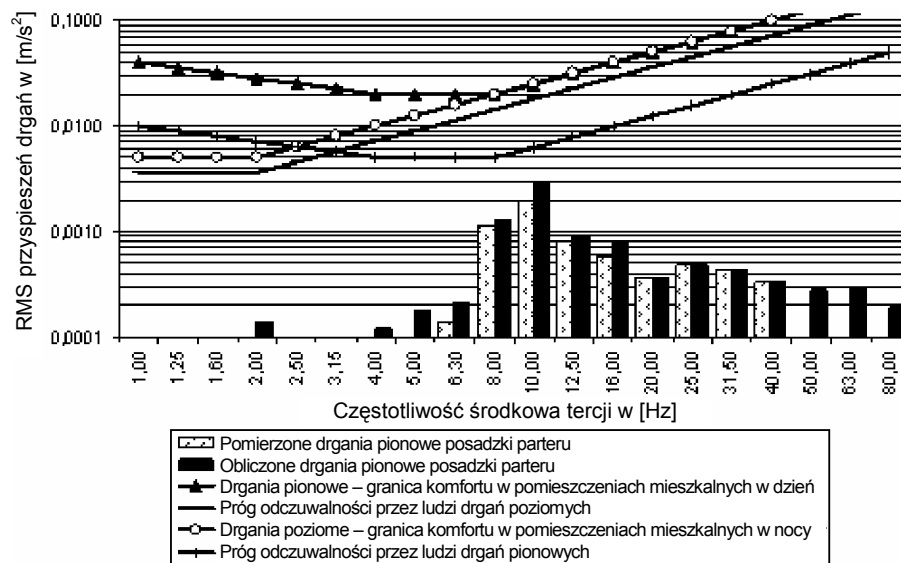
W celu zweryfikowania poprawności przyjętego modelu budynku wykonano pomiary przyspieszeń drgań wywołanych przejazdami autobusu. Punkty pomiarowe przyjęto na stropach: parteru i ostatniej (IV piętro) kondygnacji. Przyjęto również punkt pomiarowy na ścianie piwnicznej budynku w poziomie terenu, usytuowany od strony źródła drgań.

Wykonano analizę wpływu drgań na ludzi przebywających na stropach obydwu kondygnacji. Wymuszeniem kinematycznym modelu budynku były drgania pomierzone w punkcie pomiarowym na ścianie piwnicznej podczas przejazdu autobusu. W wyniku obliczeń otrzymano informacje o zmianach w czasie wartości przyspieszeń drgań w punktach pomiarowych. Posłużyły one do wyznaczenia, zgodnie z procedurą opisaną w [5], wartości



Ryc. 1. Model obliczeniowy budynku

Fig. 1. Computational model of the building

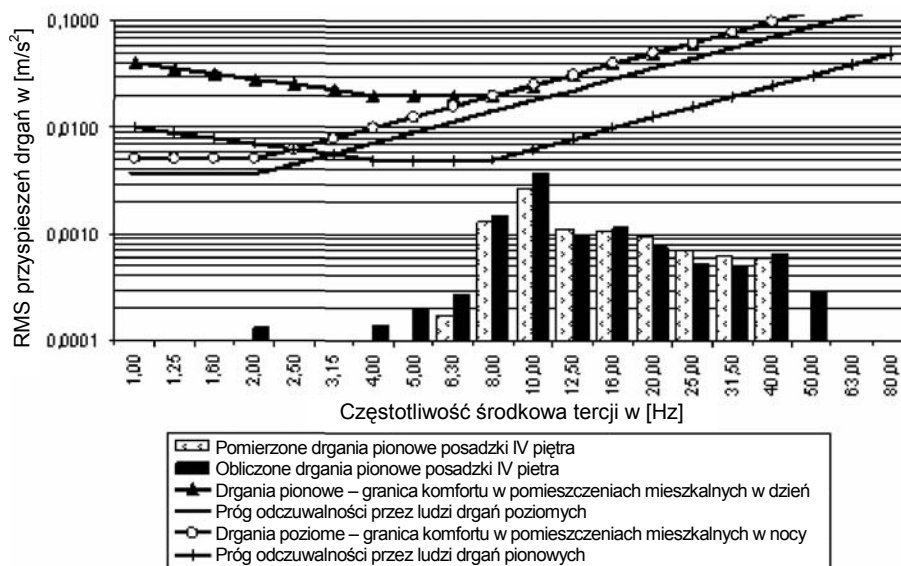


Ryc. 2. Wpływ na ludzi drgań stropu parteru podczas przejazdu autobusu – porównanie wyników

Fig. 2. Influence on people vibrations of first floor caused by bus – comparison of results

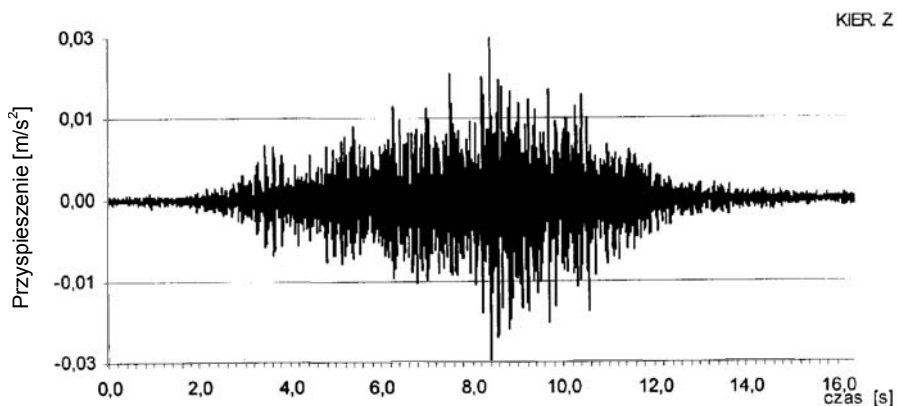
średniokwadratowych przyspieszenia drgań w 1/3 oktaowych pasmach częstotliwości. Podobnie wyznaczono wartości średniokwadratowe przyspieszeń drgań zarejestrowanych podczas pomiarów w punktach pomiarowych na stropach: parteru i IV piętra. Następnie porównano wykresy otrzymane w tych samych punktach, uzyskane na podstawie pomiarów

oraz obliczeń. Na rycinach 2 i 3 przedstawiono jako przykładowe odpowiednie wykresy odnoszące się do drgań pionowych stropów parteru i IV piętra.



Ryc. 3. Wpływ na ludzi drgań stropu IV piętra podczas przejazdu autobusu – porównanie wyników

Fig. 3. Influence on people vibrations of fifth floor caused by bus – comparison of results



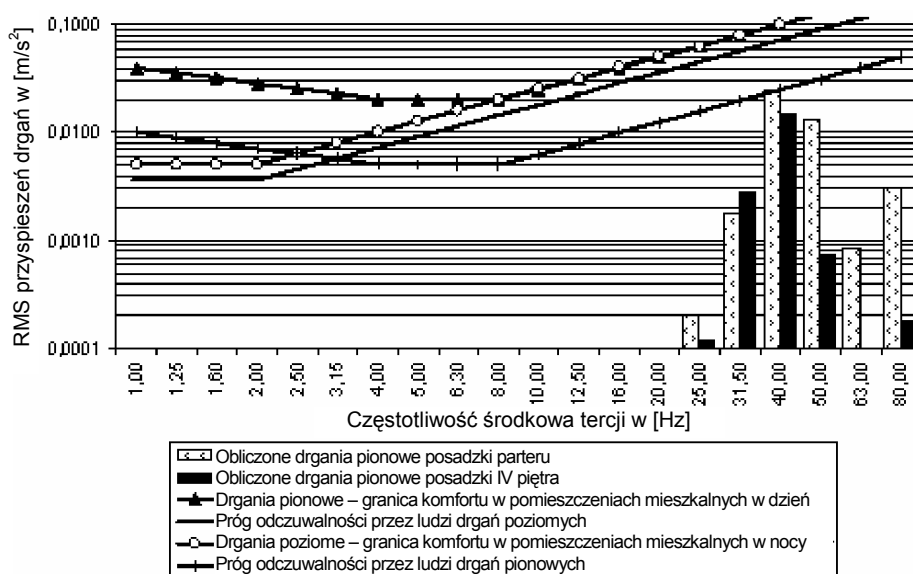
Ryc. 4. Prognozowane wymuszenie kinematyczne budynku od przejazdu metra – składowa z

Fig. 4. Predicted kinematic excitation of the building caused by metro passage – the component z

W analizowanym przypadku spełnione są kryteria akceptacji przyjętego modelu budynku, które opisano w p. 4. Można więc przyjęty model zastosować w analizach odnoszących się do oceny wpływu prognozowanych drgań na ludzi w budynku.

Korzystając z posiadanej bazy danych o wynikach pomiarów drgań budynków wywołanych przejazdami metra, opracowano prognozowane wymuszenie kinematyczne diagnozowanego budynku, które opisano trzema wibrogramami reprezentującymi składowe drgań. Wykres wartości składowej wymuszenia w kierunku z podano na ryc. 4.

Wibrogramy uzyskane w sposób opisany powyżej przyjęto jako wymuszenie kinematyczne modelu budynku. Wykonano odpowiednie obliczenia symulacyjne. W ich wyniku otrzymano prognozę wpływu drgań generowanych przejazdem metra na ludzi przebywających w budynku. Na rycinie 5 przedstawiono przykładowe wyniki prognozy.



Ryc. 5. Wpływ na ludzi drgań stropu parteru i IV piętra wywołanych przejazdem metra

Fig. 5. Influence on people vibrations of first and fifth floor caused by metro

Rzędne decydujące o wyniku prognozy sytuują się w pasmach 40 i 50 Hz. W pomieszczeniach znajdujących się na parterze drgania generowane przejazdem pociągów metra charakteryzują się większymi wartościami niż w pomieszczeniach wyżej położonych. We wszystkich analizowanych przypadkach drgania te sytuują się poniżej linii odpowiadającej progowi odczuwalności drgań przez człowieka.

7. Wnioski

W opisanej metodyce pomiarowo-interpretacyjnej występują dwa etapy, z których każdy uwzględnia wyniki pomiarów przeprowadzanych na obiektach w skali naturalnej. W etapie identyfikacji modelu wyniki pomiarów przeprowadzonych na budynku objętym prognozowaniem służą do sprawdzenia spełnienia kryterium akceptacji modelu. W etapie analizy dotyczącej prognozowania wpływu drgań opis wymuszenia kinematycznego uzys-

kuje się z bazy danych pomiarowych. Im obszerniejsza jest baza danych, tym większa jest pewność, że wymuszenie kinematyczne modelu budynku zostanie właściwie przyjęte.

Literatura

- [1] Ciesielski R. i in., *Komentarz do normy PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”*, COBPBO-Warszawa, Warszawa 1988.
- [2] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., Stypuła K., *Ocena diagnostyczna skutków wpływów drgań na budynki i ludzi w budynkach*, Inżynieria i Budownictwo nr 9/93, 390-394.
- [3] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., *Ocena wpływu wibracji na budowlę i ludzi w budynkach (diagnostyka dynamiczna)*, Wyd. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1993.
- [4] PN-85/B-02170: *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*.
- [5] PN-88/B-02171: *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach*.