

Identyfikacja wpływu drgań na Forum Gdańsk na podstawie symulacji numerycznych

Mikołaj Miśkiewicz¹, Łukasz Pyrzowski¹, Krzysztof Wilde¹, Jacek Chróścielewski¹

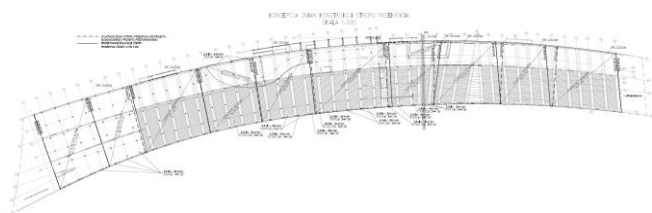
¹Katedra Wytrzymałości Materiałów, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska
email: mmisk@pg.gda.pl, lpyrzow@pg.gda.pl, wild@pg.gda.pl, jchrost@pg.gda.pl

STRESZCZENIE: Praca przedstawia zakres i pewne wyniki symulacji numerycznych wykonanych na potrzeby oceny wpływu drgań wywołanych ruchem taboru kolejowego na aktualnie wznoszony nad torowiskiem linii kolejowej obiekt Forum Gdańsk i ludzi, którzy w nim będą przebywali. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów drgań, na już istniejącej części konstrukcji, zdefiniowano wymuszenia środowiskowe, które po symulacjach MES pozwoliły oszacować zakres drgań propagujących poprzez ściany na płytę stropową i dalej na budynki, które na niej mają powstać.

SŁOWA KLUCZOWE: dynamika konstrukcji, wpływ drgań na konstrukcję, analiza MES

1. Opis konstrukcji, cel pracy

Analizowana konstrukcja to Wielofunkcyjny Kompleks Urbanistyczny „Forum Gdańsk” zlokalizowany w rejonie Targu Siennego i Rakowego oraz Kanału Raduni. W ramach budowy kompleksu modernizowany jest układ drogowy i torowy w centrum Gdańska z nadbudową nad torowiskiem płyty stropowej o wymiarach $\sim 400 \times (30 \div 50)$ m (rys. 1). Na płycie tej mają być zlokalizowane m. in.: parking, hotel, biurowiec i galeria handlowa. Poszczególne sekcje obiektu oddzielają dylatacje, zaś strop zaprojektowano, jako układ płytowo-żebrowy.



Rys. 1. Szkic stropu Forum Gdańsk usytuowanego nad torowiskiem w centrum Gdańska

Z względu na ryzyko wzbudzenia drgań konstrukcji przez poruszający się pod nią w nawierzchniowym tunelu tabor kolejowy zlecono wykonanie ekspertyzy technicznej. Celem ekspertyzy było określenie wpływu ruchu kolejowego na konstrukcję przekrycia torowiska i budynki usytuowane na nim oraz na użytkowników tych budynków. Zakres prac obejmował przeprowadzenie identyfikacji wzbudzenia drgań od przejazdu pociągów na istniejącą część konstrukcji (rys. 2) oraz stworzenie modeli obliczeniowych (MES) płyty stropowej wraz z obiektami, które mają na niej powstać.

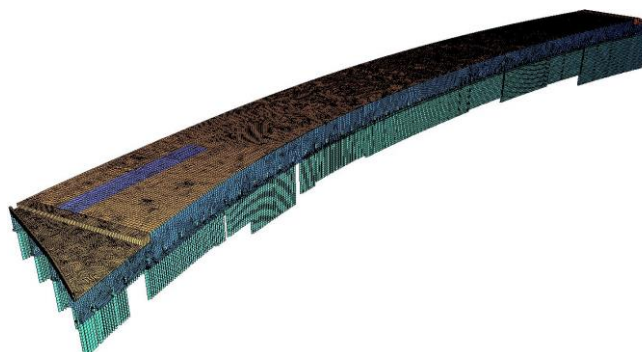
2. Modelowanie numeryczne

Dynamiczne symulacje obliczeniowe zachowania się konstrukcji przeprowadzono w zakresie liniowo-sprężystym w środowisku metody elementów skończonych (MES). Parametry geometryczne i materiałowe obiektu oraz dane dotyczące warunków gruntowych i posadowienia przyjęto na podstawie dostarczonej dokumentacji technicznej [1]. Symulacje i analizy odpowiedzi dynamicznej układu uwzględniały dwa stany pracy konstrukcji, tj. bez zabudowy (rys. 3) oraz z budowlami

przewidywanymi do wzniesienia na płycie stropowej (rys. 4).



Rys. 2. Aktualny na okres opracowania ekspertyzy stan wykonania Forum Gdańsk



Rys. 3. Wizualizacja modelu obliczeniowego konstrukcji Forum Gdańsk bez zabudowy na płycie stropowej

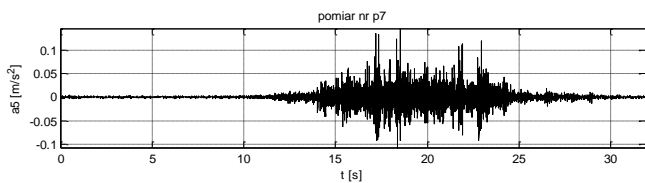


Rys. 4. Wizualizacja modeli obliczeniowych wybranych sekcji konstrukcji Forum Gdańsk z uwzględnieniem zabudowy na płycie stropowej

W opracowanych modelach obliczeniowych stosowano powłokowe i belkowe elementy skończone. Pod kątem poprawności stosowania formalizmu MES prowadzono analizę zbieżności rozwiązań. Badano wpływ gęstości siatki dyskretyzacyjnej, modelowania warunków brzegowych

z odniesieniem do rzeczywistego sposobu fundamentowania oraz wpływ poszczególnych, zdylatowanych między sobą, sekcji konstrukcji na ich globalną i indywidualną (lokalną) odpowiedź dynamiczną. Z uwagi na brak danych, co do rzeczywistego systemu i układu dylatacji całego ustroju, skoncentrowano się na analizie najniekorzystniejszego przypadku z punktu widzenia pracy konstrukcji, tj. układu, gdy dylatacje na płycie stropu pokrycia są jednocześnie linią dylatacji całej konstrukcji zabudowy.

Wykorzystując szczegółowe modele obliczeniowe MES uwzględniono przestrzenną charakterystykę rozkładu masy i sztywności obiektu. Symulacje wykonano adekwatnie do przeprowadzonych pomiarów, wymuszając drgania podłoża sygnałem uzyskany z bezpośrednich pomiarów in situ w trzech kierunkach X , Y (rys. 5) i Z w trakcie ruchu taboru.

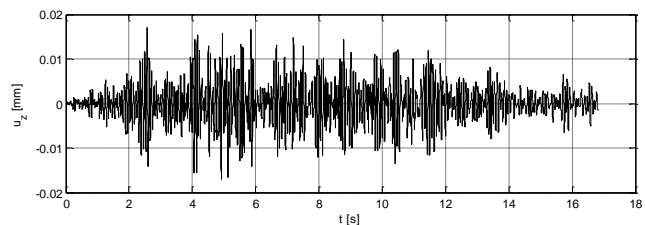


Rys. 5. Reprezentatywny zarejestrowany pomiar drgań, jako dane wejściowe do obliczeń MES (kierunek Y – poziomy, prostopadły do ściany)

Obliczenia w dziedzinie czasu przeprowadzono metodą bezpośredniego całkowania równań ruchu wykorzystując schemat Newmarka z krokiem czasowym 0,001 s z uwzględnieniem tłumienia proporcjonalnego Raileigha.

3. Wpływ drgań na konstrukcję

Do identyfikacji wpływu drgań na konstrukcję Forum Gdańsk wykorzystano metodykę opisaną w [2]. Bazuje ona na wyznaczeniu wartości współczynnika wzmocnienia dynamicznego φ definiowanego, jako iloraz maksymalnej wartości przemieszczenia dynamicznego danego elementu układu do jego przemieszczenia statycznego. Zagadnienie sformułowane jest, jako superpozycja małych drgań spowodowanych ruchem pod obiektem taboru kolejowego i statycznych deformacji konstrukcji od oddziaływań stałych. Za miarodajną wartość współczynnika przyjmuje się tę, która pojawia się w układzie (płycie, nadbudowie) w miejscu rejestracji ekstremalnych wartości przyspieszeń i sprzężonych wartości przemieszczeń statycznych.



Rys. 6. Zmiany przemieszczeń zlokalizowane w miejscu wystąpienia ekstremalnych, reprezentatywnych wartości przyspieszeń płyty stropowej sekcji 2

Analiza zmian przemieszczeń układu wymuszanego kinematycznie na podstawie danych z pomiaru na obiekcie wskazuje, że wartości φ dynamicznego współczynnika wzmocnienia mieszczą się w przedziale 1,00042÷1,02429.

Ostatecznie zdecydowano o przyjęciu do analizy całego ustroju współczynnika dynamicznego na poziomie $\varphi=1,1$. Reprezentatywny wynik ewolucji przemieszczeń w punkcie występowania ekstremalnych wartości przyspieszeń przedstawiono na rys. 6.

4. Wpływ drgań na ludzi

Oceniano wpływy drgań, uzyskanych z symulacji numerycznych, w trzech kierunkach X , Y i Z , zlokalizowanych w reprezentatywnych punktach konstrukcji. Norma [3] określa zakresy wartości parametrów oddziaływań dynamicznych, które spełniają wymagania związane z zapewnieniem komfortu przebywania ludziom w pomieszczeniach. Podstawą oceny są wyniki analizy częstotliwościowej drgań w miejscu ich docierania do człowieka. Oznaczone wartości skuteczne przyspieszeń drgań tzw. RMS (*Root Mean Square*) w tercjowych pasmach częstotliwości porównuje się z wartościami dopuszczalnymi w kontekście spełnienia komfortu przebywania ludzi w pomieszczeniach i wyraża się za pomocą współczynnika n .

Wyznaczone wartości n wskazują, że ustrój w wersji bez zabudowy na płycie nakrywającej torowisko (rys. 3), spełnia warunki do przebywania ludzi, zarówno w dzień jak i w nocy w obiektach typu biura, urzędy itp. Dodatkowo oceniono, że uzyskane na podstawie symulacji wartości RMS dla pomieszczeń typu mieszkania, internaty itp., są spełnione w ciągu dnia i nieznacznie przekroczone w nocy. Ekstremalne wartości współczynnika n zmniejszają się znacznie po uwzględnieniu zabudowy (rys. 4). Stąd można postulować, że po zakończeniu wznoszenia Forum Gdańsk, drgania tam występujące będą w większości przypadków nieodczuwalne przez ludzi przebywających w nadbudowanych nad tunelem obiektach.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania na wznoszonym obiekcie Forum Gdańsk, uzupełnione symulacjami MES, wskazują, że oddziaływania dynamiczne związane z ruchem kolejowym nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla bezpieczeństwa konstrukcji Forum Gdańsk, jak i dla ludzi w nim przebywających. Analiza danych pomiarowych in situ, występujących na poziomie fundamentów, wykazała, że istotne komponenty częstotliwościowe sygnałów przyspieszeń zawierają się w przedziale 10÷60 Hz. Wyznaczone wartości skuteczne przyspieszeń pionowych, w odpowiednich pasmach częstotliwościowych oznaczane z uwagi na ocenę komfortu wibracyjnego ludzi przebywających w obiekcie; wskazują, że, wszystkie funkcje użytkowe przewidziane dla Forum Gdańsk, zarówno bez zabudowy jak i z zabudową biurową, mogą zostać dopuszczone.

Literatura

- [1] MOSTY GDAŃSK sp. z o.o., *Projekt wykonawczy Forum Gdańsk. Koncepcja zmian konstrukcji przekrycia torowiska*, 2015.
- [2] Paultre P., Chaallal O., Proulx J. *Bridge dynamics and dynamic amplification factor - a review of analytical and experimental findings*, Can. J. Civ. Eng. 19, 260-278, 1992.
- [3] PN-88/B-02171 *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach*