

dr hab. inż. Krzysztof Żółtowski, prof. PG^{1*)}

dr inż. Anna Banaś¹⁾

mgr inż. Maciej Malinowski¹⁾

mgr inż. Mikołaj Binczyk¹⁾

Identyfikacja właściwości statycznych i dynamicznych zwodzonej kładki dla pieszych na wyspę Ołowiankę w Gdańsku

Identification of static and dynamic properties of the pedestrian footbridge on the Ołowianka Island in Gdańsk

DOI: 10.15199/33.2017.10.37

W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań pod próbnym obciążeniem statycznym i dynamicznym zwodzonej kładki dla pieszych przez rzekę Motławę na wyspę Ołowiankę w Gdańsku. Dokonano również porównania tych wyników z teoretycznymi analizami numerycznymi. Konstrukcja kładki pozytywnie przeszła wszystkie badania odbiorcze i od 17 czerwca 2017 r. służy turystom i mieszkańcom Gdańska.

Słowa kluczowe: kładka dla pieszych; próbne obciążenie; analiza numeryczna; obciążenie dynamiczne; odpowiedź dynamiczna.

Abstract. The paper presents the results of the research under the static and dynamic load test of pedestrian footbridge across the Motława River to Ołowianka Island in Gdansk. Comparison of these results with theoretical numerical analysis was performed. The footbridge construction has passed all tests and since June 17, 2017 it serves tourists and residents in Gdańsk.

Keywords: footbridge; load test; numerical analysis; dynamic load; dynamic response.

17 czerwca 2017 r. przekazano do użytkownika pierwszą kładkę z przęsłem zwodzonym w historycznym Starym Gdańsku (fotografia 1), łączącą Długie Pobrzeże w rejonie Zamczyska z wyspą Ołowianką. Projektantem kładki jest słoweńska firma Ponting, wykonania dokumentacji szczegółowej podjęło się Biuro Mosty Gdańsk, a nadzór naukowy nad inwestycją prowadziła Politechnika Gdańska. Inwestorem była Dyrekcja Rozbudowy Miasta Gdańska działająca w imieniu miasta, zaś generalnym wykonawcą Przedsiębiorstwo Usług Technicznych Intercore. Wartość inwestycji to 10 mln zł.

Kluczowym elementem konstrukcji są dwa bliźniacze dźwigniki hydrauliczne, które napędzają system zwodzenia kładki. Układ napędowy został wykonany przez firmę Bosch Rexroth. Dźwigniki stanowią ruchome podparcie przęsła podczas wspornikowego otwierania, a gdy przęsło jest opuszczone i pracuje w schemacie belki wolnopodpartej, nie są aktywne (rysunek 1 i fotografia 2).

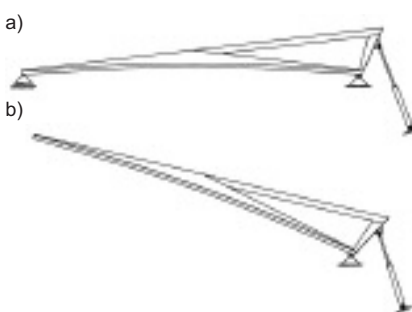
Ostatnim etapem przed przekazaniem mostu do użytkownika były badania odbiorcze polegające na próbnym obciążeniu statycznym i dynamicznym



[Fot.: A. Banaś]

Fot. 1. Widok na otwartą kładkę

Fot. 1. View of the open footbridge



Rys. 1. Schemat kładki wraz z silnikiem: a) w pozycji opuszczonej; b) w pozycji otwartej

Fig. 1. Scheme of a footbridge with a cylinder: a) in closed position; b) in open position



Fot. 2. Dźwigniki hydrauliczne (kładka w pozycji otwartej)

[Fot.: M. Binczyk]
Photo 2. Hydraulic cylinders (footbridge in the open position)

¹⁾ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

²⁾ Adres do korespondencji: krzysztof.zoltowski@wilis.pg.gda.pl

przesła zwodzonego, wykonane w nocy z 26 na 27 maja 2017 r. przez Laboratorium Badań Terenowych Katedry Transportu Szynowego i Mostów Politechniki Gdańskiej.

Badania pod próbnym obciążeniem statycznym

Próbne obciążenie statyczne polegało na obciążeniu kładki czterdziestoma trzema pojemnikami z wodą o masie ~10,6 kN każdy. Całkowite obciążenie przęsła zwodzonego kładki podczas badania statycznego wynosiło 456 kN. Zgodnie z projektem obciążenia próbnego [3] ugięcie przęsła w środku rozpiętości powinno wynieść 76,6 mm. Pomiarzone maksymalne ugięcie sprężyste było równe 71,2 mm [1], co stanowi 93% teoretycznego ugięcia przęsła wg projektu. Natomiast ugięcie trwałe wyniosło zaledwie 4,7 mm. Świadczy to o sprężystej pracy konstrukcji i potwierdza założenia projektowe oraz prawidłowe wykonanie.

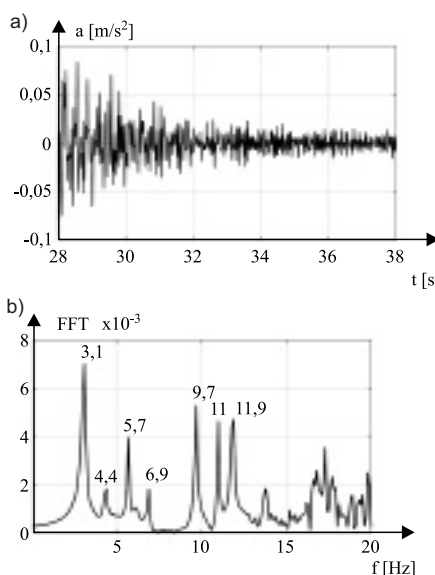
Badania pod próbnym obciążeniem dynamicznym

Kładki są z reguły lekkimi konstrukcjami, które bywają wrażliwe na dynamiczne oddziaływania pieszych. Na etapie projektu i realizacji obiektu należało więc zwrócić szczególną uwagę na ocenę komfortu użytkownika kładki. Projekt poddano analizom dynamicznym z wykorzystaniem modeli numerycznych MES [4, 5].

Z analizy wynikało, że pierwsza częstotliwość pionowych drgań własnych kładki wyniosła zaledwie 1,64 Hz [4]. Taka charakterystyka nie była pożądana i dlatego w trakcie prowadzenia prac budowlanych nadzór naukowy Politechniki Gdańskiej zaproponował wykonawcy obiektu oraz inwestorowi wykorzystanie siłowników hydraulicznych jako elementów tłumiących drgania konstrukcji. Firma Bosch Rexroth dostarczająca napęd zwodzenia wprowadziła dodatkowe elementy w konstrukcji głównych siłowników hydraulicznych. Dzięki temu kontrolowano przepływ oleju hydraulicznego pomiędzy przestrzeniami roboczymi siłowników, a w efekcie tłumienie drgań. Parametry tłumienia oszacowano na podstawie danych producenta. Przeprowadzono symu-

lacje numeryczne dynamicznej odpowiedzi konstrukcji wyposażonej w tłumiki. Sposób identyfikacji postaci i częstotliwości drgań własnych uwzględniający siłowniki (tłumiki) z wykorzystaniem metody „time-step” i procedury Newmarka przedstawiono w [4 i 5], a wyznaczone parametry dynamiczne modelu numerycznego na rysunku 2.

Podczas badań pod próbnym obciążeniem identyfikowano parametry dynamiczne na podstawie swobodnej odpowiedzi kładki po impulsowym wykonywaniu podskoków przez grupę 20 osób. Częstotliwość drgań własnych kładki (rysunek 2b) otrzymano z szybkiej transformaty Fouriera (analizy FFT) zarejestrowanego sygnału przyspieszeń pionowych w środku rozpiętości przęsła i jest ona zgodna z teoretyczną częstotliwością drgań własnych, którą otrzymano z modelu MES.



Rys. 2. Swobodna odpowiedź kładki [1]: a) zarejestrowana składowa pionowa przyspieszeń b) analiza FFT

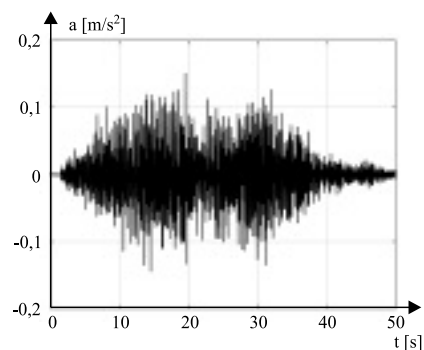
Fig. 2. Free response of footbridge [1]: a) registered vertical acceleration; b) FFT analysis

Rzeczywista częstotliwość drgań własnych kładki nie zawierała się w krytycznym zakresie 1,8 – 2,0 Hz. Mimo to przeprowadzono wiele testów badających zachowanie się konstrukcji pod wpływem działającego obciążenia. Pomiary drgań (przyspieszeń) konstrukcji określono pod następującym obciążeniem dynamicznym:

- marsz swobodny 20-osobowej grupy;

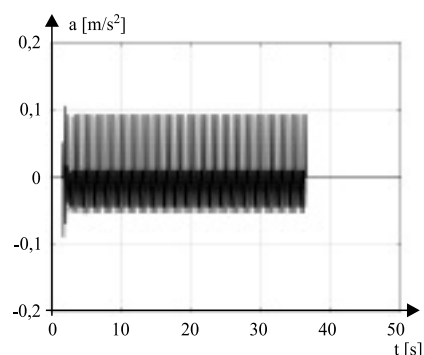
- marsz synchroniczny 20-osobowej grupy z częstotliwością kroku 1,9 Hz;
- bieg swobodny 20-osobowej grupy;
- bieg synchroniczny 20-osobowej grupy z częstotliwością kroku 3,1 Hz;
- bieg synchroniczny w miejscu 20-osobowej grupy z częstotliwością 3,1 Hz, w środku rozpiętości przęsła zwodzonego;
- podskoki synchroniczne 20-osobowej grupy z częstotliwością 3,1 Hz, w środku rozpiętości przęsła zwodzonego.

Na podstawie zarejestrowanych drgań podczas swobodnego marszu (rysunek 3) i biegu grupy osób oraz tabeli określającej klasy komfortu użytkownika kładek dla pieszych stwierdzono, że będzie ona zapewniała wysoki komfort, co potwierdziły analizy numeryczne (rysunek 4). W przypadku celowych wymuszeń pieszych z zadaną częstotliwością



Rys. 3. Pomiary in situ – składowa pionowa przyspieszeń konstrukcji przęsła w 1/2 rozpiętości przęsła – marsz swobodny 20-osobowej grupy [1]

Fig. 3. In situ measurements – vertical acceleration of spans in the 1/2 span – free margin of 20 persons [1]



Rys. 4. Analiza numeryczna – składowa pionowa przyspieszenia konstrukcji przęsła w 1/2 rozpiętości – marsz swobodny 20-osobowej grupy [4]

Fig. 4. Numerical analysis – vertical acceleration of spans in the 1/2 span – free margin of 20 persons [4]

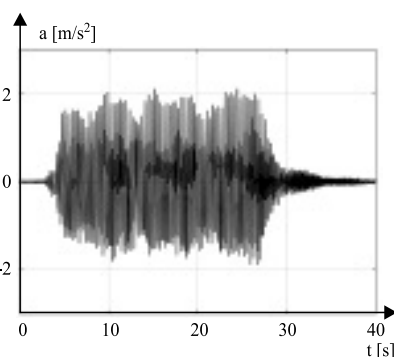
Klasy komfortu kładki dla pieszych wg [2]
Class comfort for footbridge by [2]

Klasa komfortu	Poziom komfortu	Przyśpieszenie drgań pionowych [m/s ²]
K1	wysoki	poniżej 0,5
K2	średni	0,5 ÷ 1,0
K3	minimalny	1,0 ÷ 2,5
K4	nieakceptowalny	powyżej 2,5

(rysunek 5) drgania oscylują na poziomie minimalnego akceptowalnego poziomu drgań (do 2,5 m/s²). Analizy dynamiczne z wykorzystaniem modelu numerycznego MES [4 i 5] potwierdziły taki poziom drgań.

* * *

W artykule porównano numeryczne analizy dynamiczne kładki z badaniami pod próbnym obciążeniem. Zgodność otrzymanych wyników częstotliwości drgań własnych oraz przy-



Rys. 5. Pomiary in situ – składowa pionowa przyśpieszenia konstrukcji przeszła w ½ rozpiętości – bieg synchroniczny w miejscu z częstotliwością 3,1 Hz [1]

Fig. 5. In situ measurements – vertical acceleration of spans in the ½ span – synchronous running in place with a frequency of 3.1 Hz [1]

śpieszenia jest bardzo duża. Kładka przeszła pozytywnie wszystkie procedury odbiorcze i od 17 czerwca 2017 r. jest eksploatowana.

Literatura

- [1] Raport z badań podczas próbnego obciążenia kładki dla pieszych przez rzekę Motławę na wyspę Ołowiankę w Gdańsku; Laboratorium Badań Terenowych, KTSiM, Politechnika Gdańska.
- [2] Stahlbau Kalender 2008: Dynamik, Brucken, Anderungen zu DIN 18800, Feuerverzinken. Berlin. Ernst & Sohn 2007.
- [3] Żółtowski Krzysztof, Mikołaj Binczyk. 2017. *Projekt próbnego obciążenia zwodzonej kładki dla pieszych przez rzekę Motławę na wyspę Ołowiankę w Gdańsku*. Politechnika Gdańska.
- [4] Żółtowski Krzysztof, Mikołaj Binczyk. 2017. *Raport z analizy dynamicznej zwodzonej kładki dla pieszych przez rzekę Motławę na wyspę Ołowiankę*. Politechnika Gdańska.
- [5] Żółtowski Krzysztof, Mikołaj Binczyk. 2017. „Zwodzona kładka dla pieszych na wyspę Ołowiankę w Gdańsku – analizy dynamiczne z wykorzystaniem modelu numerycznego MES”. *Materiały Budowlane* 538 (6): 74 – 77. DOI: 10.15199/33.2017.06.25. Przyjęto do druku: 14.08.2017 r.



Stalprodukt S.A.

SUKCES
JEST
 DOWODEM
 ZREALIZOWANEGO
CELU

www.stalprodukt.com.pl
 Największy producent kształtowników giętych na zimno w Polsce