



Patrycja Piętka

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

ZASTOSOWANIE METODY WIBRACYJNEJ DO WYZNACZANIA SIŁ W KABŁACH MOSTU PODWIESZONEGO NAD RZEKĄ WISŁOK W RZESZOWIE

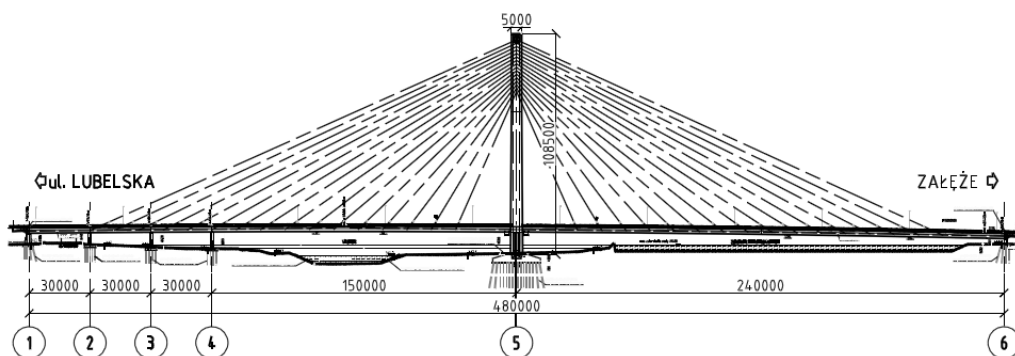
Rękopis dostarczony: marzec 2017

Streszczenie: Celem pracy jest przedstawienie metody wibracyjnej służącej do wyznaczania sił w elementach ciągnowych na przykładzie mostu w Rzeszowie. W referacie przedstawiono podstawy teoretyczne tej metody. Wyprowadzono zależność między siłą, a częstotliwością drgań swobodnych cięgna i na tej podstawie obliczono siły w wybranych wieszakach obiektu.

Słowa kluczowe: most podwieszony, monitoring konstrukcji, metoda wibracyjna

1. WSTĘP

Most wantowy w Rzeszowie, który został oddany do użytku w październiku 2015 r. powstał jako fragment krótkiego odcinka obwodnicy północnej Rzeszowa. Obiekt zaprojektowany został przez firmę Mosty Gdańsk Sp. z o.o., natomiast wykonawcą była firma Blifinger Infrastructure S.A. Most przekracza ul. Wioślarską, rzekę Wisłok oraz zbiornik PGE EC. Jego długość całkowita wynosi 482 m, a szerokość pomostu jest równa 28,5 m. Most podzielony został na pięć przęseł o rozpiętościach teoretycznych $3 \times 30 + 150 + 240$ m i oparty na 6 podporach, w tym na dwóch przyczółkach, trzech filarach kotwiących przęsło oraz pylonie. Wysokość pylonu wynosi ok. 108,5 m ponad poziom terenu (95 m od niwelety jezdni) w związku z czym jest to drugi co do wysokości most w Polsce. Pylon ma przekrój skrzynkowy żelbetowy, w górnej części ze względu na zakotwienia want wzmocniony stalową skrzynką. Jego wnętrze jest zagospodarowane na komunikację. Podwieszenie zaprojektowano w układzie wachlarzowym. Zakotwienia czynne want znajdują się pylonie – w rozstawie co 1,7 m, natomiast bierne – w rozstawie co 12 m, w dźwigarach głównych. Przęsło stanowi stalowy ruszt zespolony z żelbetową płytą pomostu, wspólny dla obu kierunków ruchu (bez prześwitu w pasie rozdziału). Obiekt zaprojektowano na obciążenia klasy A wg PN-85/S-10030 oraz STANAG 2021 klasy 150 wg Dz. U. Nr. 63.



Rys. 1. Widok z boku mostu nad rzeką Wisłok [2]



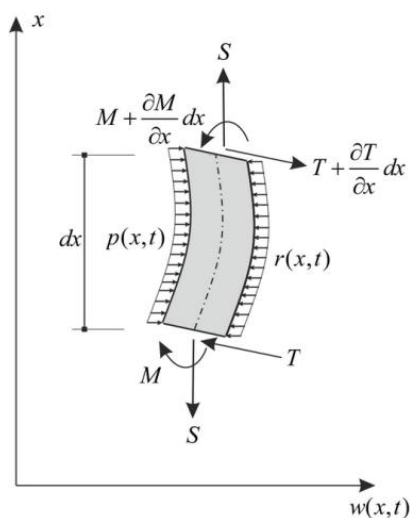
Rys. 2. Most nad rzeką Wisłok [8]

2. SYSTEM MONITORINGU TECHNICZNEGO KONSTRUKCJI MOSTU

Obecnie większość znaczących obiektów budowlanych, w tym także most wantowy w Rzeszowie wyposażona jest w system monitoringu technicznego konstrukcji (MTK), w celu stałej kontroli parametrów istotnych dla bezpieczeństwa konstrukcji. System MTK rzeszowskiego mostu składa się z trzech modułów: pomiarowego, który zbiera i zapisuje dane z czujników i urządzeń pomiarowych, ekspertowego – analizującego wpływy środowiska i odpowiedź konstrukcji w czasie, odpowiadającego również za symulacje numeryczne i algorytm generowania alarmu oraz modułu powiadamiania, który informuje o przekroczeniu progów bezpieczeństwa.

W skład modułu pomiarowego wchodzi:

1. Segment akcelerometryczny: pomiary drgań pylonu; pomiary drgań want; pomiary drgań pomostu



Rys. 4. Element pręta drgającego poprzecznie, poddany jednocześnie działaniu stałej siły rozciągającej [1]

Ruch wanty opisany jest równaniem drgającego poprzecznie pręta, poddanego jednoczesnemu działaniu stałej siły rozciągającej. Na element pręta o długości dx działa obciążenie poprzeczne $p(x,t)$ oraz siła bezwładności:

$$r(x,t) = \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (1)$$

Gdzie:

$w(x,t)$ – przemieszczenie drgającego pręta

A – przekrój poprzeczny

ρ – gęstość materiału

Na końcach przekroju działa siła tnąca T , moment zginający M i siła normalna S . Z sumy rzutów na kierunku w:

$$\frac{\partial T}{\partial x} + p - \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

Z sumy momentów wzgl. punktu P1:

$$T = \frac{\partial M}{\partial x} - S \frac{\partial w}{\partial x} \quad (3)$$

Z równań 2 i 3:

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - S \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = p(x,t) \quad (4)$$

Gdzie:

E – moduł sprężystości

I – moduł bezwładności

Kwadrat częstości kołowej drgań własnych pręta o długości L , swobodnie podpieranego na obu końcach dany jest wzorem:

$$\omega_n^2 = \frac{n^4 \pi^4 EI}{L^4 \rho A} \left(1 + \frac{S}{\frac{EI n^2 \pi^2}{L^2}} \right) \quad (5)$$

Znając częstość drgań własnych z powyższego równania można obliczyć siłę S :

$$S = \frac{L^2 \rho A}{n^2 \pi^2} \omega_n^2 - \frac{n^2 \pi^2}{L^2} EI \quad (6)$$

Metoda wibracyjna ze względu na swoją prostotę jest powszechnie stosowana przez zespoły zajmujące się diagnostyką konstrukcji.

4. OBLICZENIA SIŁ W KABŁACH MOSTU

Poniżej przedstawiono przykładowe obliczenia wykonane dla kabla najdłuższego (W1).

Na podstawie dokumentacji wykonawczej [6] przyjęto:

Pole przekroju pojedynczego splotu: $A_{spl} = 150 \text{ mm}^2$

Liczba splotów w kablu: $x = 114$

Pole przekroju splotów: $A = x \cdot A_{spl} = 114 \cdot 0,015 \text{ m}^2 = 1,71 \text{ m}^2$

Długość kabla: $L = 229,379 \text{ m}$

Moduł sprężystości stali: $E = 195 \text{ GPa}$

Z pracy [3] przyjęto:

Pierwsza częstość kołowa drgań własnych wanty: $\omega_1 = 0,581 \text{ Hz}$

Oraz:

Gęstość stali: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Moment bezwładności: $I = 0,23 \text{ m}^4$

Siła w kablu:

$$S = \frac{L^2 \rho A}{n^2 \pi^2} \omega_n^2 - \frac{n^2 \pi^2}{L^2} EI = \frac{229,379^2 \cdot 7850 \cdot 1,71}{1^2 \cdot \pi^2} \cdot 0,58 I^2 - \frac{1^2 \cdot \pi^2}{229,379^2} \cdot 195 \cdot 10^9 \cdot 0,23 = 15644467 \text{ N} = 15644,47 \text{ kN}$$

Wartość obliczonej siły jest zbliżona do wartości maksymalnej siły normalnej obliczonej przez projektanta w programie naciągu [7].

Z uwagi na obróbkę danych analiza sił w innych kablach mostu jest w toku.

5. PODSUMOWANIE

Główną zaletą metody wibracyjnej jest jej prostota. Stosując ją należy jednak zwrócić uwagę na nieprawidłowości wynikające z błędnych założeń. W niniejszej pracy przyjęto uproszczony - kołowy przekrój pracujący wanty, która w rzeczywistości składa się z kilkudziesięciu lub kilkuset splotów, co wpływa również na obliczenia momentu bezwładności. W powyższym przypadku pominięto również osłonę kabla. Przy stosowaniu metody wibracyjnej ważne jest odpowiednie przyjęcie warunków podporowych [1]. W elementach o znacznej długości jak np. kable mostu w Rzeszowie błąd z tego wynikający jest niewielki.

Bibliografia

1. Topolewicz M., Topolewicz K., Rucka M., Wilde K.: Wibracyjna metoda wyznaczania sił w wieszakach na przykładzie wiaduktu łukowego w Gdańsku. Wrocławskie Dni Mostowe „Współczesne technologie budowy mostów”, Wrocław 2014
2. Wilde K., Miśkiewicz M., Mariak A., Meronk B., Rucka M.: Innowacyjny moduł ultradźwiękowy systemu monitoringu technicznego mostu podwieszonoego w Rzeszowie. [W:] Wybrane problemy budownictwa, Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy, Krynica 2015
3. Mariak A., Miśkiewicz M., Meronk M., Pyrzowski Ł., Wilde K.: Reference FEM model for SHM system of cable-stayed bridge in Rzeszow. Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues. Proceedings of the 3rd Polish Congress of Mechanics and 21st International Conference on Computer Methods in Mechanics, Gdansk 2015
4. Mehrabi A., Ciolko T.: Health monitoring and problem solving for cable supported bridges. [W:] Strait Crossings. CRC Press, 2001
5. Żółtowski K.: Monitoring konstrukcji mostu podwieszonoego i extradosed. „Mosty”, 2015
6. Mosty Gdańsk Sp. z.o.o. Budowa drogi od ul. Załęskiej do ul. Lubelskiej wraz z budową mostu na rzece Wiśłok. Projekt wykonawczy, 2014
7. Mosty Gdańsk Sp. z.o.o. Budowa drogi od ul. Załęskiej do ul. Lubelskiej wraz z budową mostu na rzece Wiśłok. Program naciągu cięgien podwieszających przęsła, 2015
8. Późniak Tadeusz, [online], aktualizacja 1.07.2014, [dostęp 17 kwietnia 2016], Dostępny w Internecie: <http://www.polskawschodnia.2007-2013.gov.pl>

USING THE VIBRATIONAL METHOD FOR MEASUREMENT CABLE NORMAL FORCES IN HANGERS OF CABLE-STAYED BRIDGE OVER THE WISŁOK RIVER IN RZESZÓW

Summary: The aim of the study is to present the vibrational method used for measurement cable normal forces in the cable elements on the example of a bridge in Rzeszow. The paper presents the theoretical basis of this method. The relationship between the force and the natural frequency was extracted. On this basis forces in the selected hangers of the bridge was calculated.

Keywords: cable-stayed bridge, structural health monitoring, vibrational method