

## V KRAJOWA KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

### PROBLEMY PROJEKTOWANIA, BUDOWY ORAZ UTRZYMANIA MOSTÓW MAŁYCH I ŚREDNICH ROZPIĘTOSCI

WROCLAW

2-3 grudnia 2004 rok

Frank DALMER<sup>1</sup>  
Wiesław FIEBIG<sup>2</sup>  
Józef RABIEGA<sup>3</sup>

## REDUKCJA DRGAN KLADEK DLA PIESZYCH Z WYKORZYSTANIEM TLUMIKÓW MASOWYCH

### 1. Wstęp

Kładki dla pieszych to zazwyczaj konstrukcje o dużej rozpiętości i wysokiej podatności dynamicznej. Dzięki zastosowaniu tłumików masowych istnieje możliwość ograniczenia amplitud drgań przy częstotliwościach drgań własnych (rezonansowych), które są często niższe od 3 Hz [1]. Przy pomocy tłumików masowych uzyskuje się obniżenie amplitud drgań 4-5-krotnie przy czym jest to rozwiązanie ekonomiczne [2]. W ich skład wchodzi masa zawieszona na sprężynach oraz tłumik wiskotyczny. Częstotliwość drgań własnych tłumika masowego jest dostrajana do częstotliwości drgań własnych (rezonansowych) kładki. W niniejszym referacie przedstawiono wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych przeprowadzonych dla wiszącej kładki dla pieszych „Zabia Kładka” we Wrocławiu wspólnie z firmą GERB, które miały na celu właściwy dobór parametrów tłumików drgań. W końcowej części pokazano skuteczność działania układu 3 tłumików masowych zamontowanych na kładce. Firma GERB posiada bogate doświadczenia w stosowaniu tłumików masowych, m.in. w wibroizolacji maszyn, budynków oraz kładek i mostów. Tłumiki tej firmy zostały z powodzeniem zastosowane dla tłumienia drgań kładki Millennium w Londynie [3]. Tłumiki te mogą też zostać dobrane na etapie projektowania. Głównie odnosi się to do obiektów o większych rozpiętościach i lekkich przesłach np. do kładek stalowych.

Ponieważ w przedmiotowej kładce, mimo spełnienia wymogów normowych na obciążenie statyczne stwierdzono zbyt dużą wrażliwość dynamiczną jej przesłania nosnego. Należało więc poprawić jego właściwości dynamiczne [4].

---

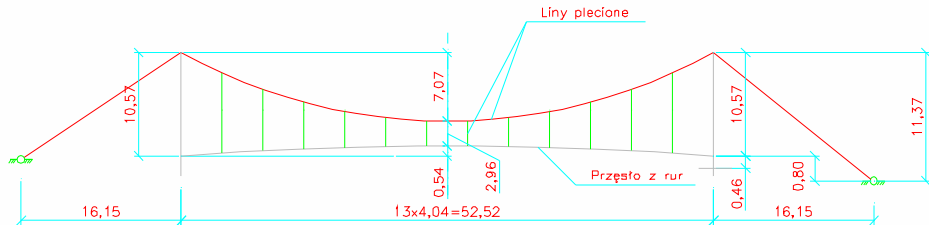
<sup>1</sup> Dipl.- Ing. GERB, Essen

<sup>2</sup> dr hab. inż. Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, przedstawiciel firmy GERB w Polsce

<sup>3</sup> dr inż., Zakład Mostów, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej

## 2. Konstrukcja kładki

Przebudowana w 2002 r. Zabia Kładka przez Odre we Wrocławiu posiada wiszący ustrój niosący [5], [6], [7] (rys. 1).



Rys. 1. Schemat statyczny i geometria przebudowanej kładki



Rys. 2. Ogólny widok kładki po przebudowie

Słupy pylonów i ich rygle wykonane są z dwóch rur 457/20 mm przenikających się w narożach i połączonych ze sobą zębami grubości 20 mm. Główne liny nosne podwieszenia dla przęsła to liny spiralne 1 x 61 średnicy 46 mm, a wieszaki stanowią plecione liny spiralne 1 x 37 średnicy 20 mm, firmy Freyssinet. Belki główne przęsła o rozpiętości 51,52 m (w osiach łożysk płaskich podpierających je na pylonach) wykonane są z rur średnicy 457/11 mm ze stali 18G2A, oddalonych od siebie na 2,66 m. Belki poprzeczne z dwuteowników HE 140 rozmieszczone co 2,02 m, a belki podłużne (również z dwuteowników HE 140) dano w rozstawie 0,90 m. Szerokość użytkowa pomostu wynosi 2,0 m, a nawierzchnię stanowi impregnowana dykta dębowa grubości 6 cm, przymocowana ocynkowanymi srubami M8 do trzech ceowników 100 ułożonych na płask i licujących z rusztem pomostu. Każde pole między poprzecznicami steżono skratowaniem typu X z ceowników 100. Posadowienie obu pylonów i bloków kotwiących stanowią fundamenty

betonowe o wymiarach w planie 4,0 x 5,0 m i głębokości 2,50 m. Z okazji przebudowy obiektu fundamenty pylonów wzmocniono dziesięcioma mikropalami pionowymi o długości 10,20 m na prawym brzegu i sześcioma mikropalami długości 10,30 m na lewym brzegu. Bloki kotwiące odciągi lin nosnych wzmocniono trzema ukosnymi mikropalami długości 11,80 m na prawym brzegu i trzema mikropalami długości 9,50 m na lewym brzegu. Do wykonania mikropali średnicy 0,18 m użyto rur stalowych grubościennych 88,9/11 mm i cementu hutniczego CEM III/A-32,5.

W ustroju tym mimo spełnienia wymogów normy PN-85/S-10030 na obciążenie statyczne, stwierdzono zbyt dużą wrażliwość dynamiczną przęsła, dlatego należało zastosować korekty jego parametrów dynamicznych [4]. Było to niezbędne z racji dyskomfortu w jej użytkowaniu oraz obawy o możliwość wprowadzenia kładki w stan rezonansowy, niebezpieczny dla samej konstrukcji przęsła. Zastosowane tłumienie jako najbardziej ekonomiczny środek dla zmniejszenia nadmiernych drgań [8], [9] (wśród kilku innych możliwych do zastosowania sposobów). Decyzje dotycząca zainstalowania tłumików o niezbędnych parametrach podjęto po wykonaniu rozpoznawczych pomiarów drgań przęsła na obiekcie oraz po wykonaniu analizy modalnej zrealizowanej w firmie GERB.

### 3. Opis konstrukcji i charakterystyk tłumików masowych

Zastosowanie tłumików jest najbardziej ekonomicznym i odpowiednim sposobem do kontrolowania wibracji przesła obiektów lekkich (kładek stalowych). Ogólna zasada polega na zainstalowaniu tłumików typu masa-sprężyna-tłumik wiskotyczny, o częstotliwości drgań własnych bliskich częstotliwości kładki (głównego wymuszenia). W celu uzyskania jak najefektywniejszej pracy absorbera (tłumika) potrzebuje on możliwie relatywnie dużą amplitudę ruchu oraz samego miejsca dla zamontowania. Ogólnie trzeba stwierdzić, że efektywność tłumików drgań jest tym wyższa im niższe jest tłumienie własne układu drgającego.

W celu zmiany cech dynamicznych przęsła kładki zastosowano trzy tłumiki typu masa-układ sprężyn-tłumiki wiskotyczne. Tłumiki o częstotliwości drgań własnych 1,2 Hz, masie drgającej 935 kg i masie całkowitej z konsolą 1120 kg, zostały podwieszony w  $\frac{1}{4}$  i  $\frac{3}{4}$  długości przęsła, a tłumik o częstotliwości drgań własnych 1,4 Hz, masie drgającej 2310 kg i masie całkowitej z konsolą 2410 kg zainstalowano w połowie długości przęsła. Masa trzech tłumików wynosi około 10% ciężaru obiektu (przęsła i lin nosnych).

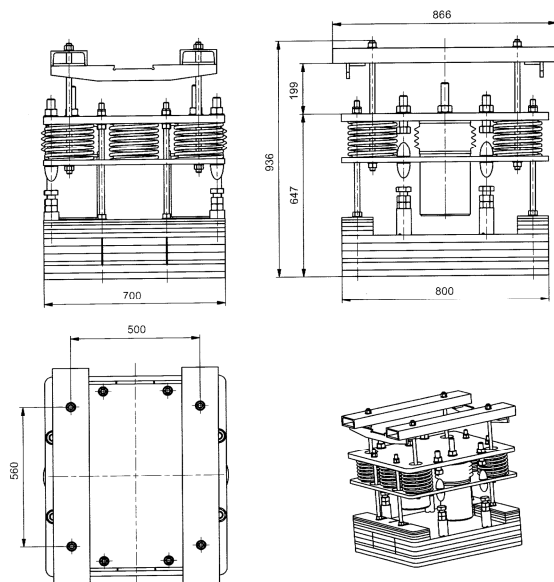
W skład tłumików masowych wchodzi:

- pakiet płyt stalowych stanowiących o masie drgającej; dzięki wielu wymiennym płytom możliwe jest dostrajanie tłumika do częstotliwości drgań własnych kładki,
- układ sprężyn o określonej sztywności,
- tłumiki wiskotyczne dla zapewnienia tłumienia drgań w układzie.

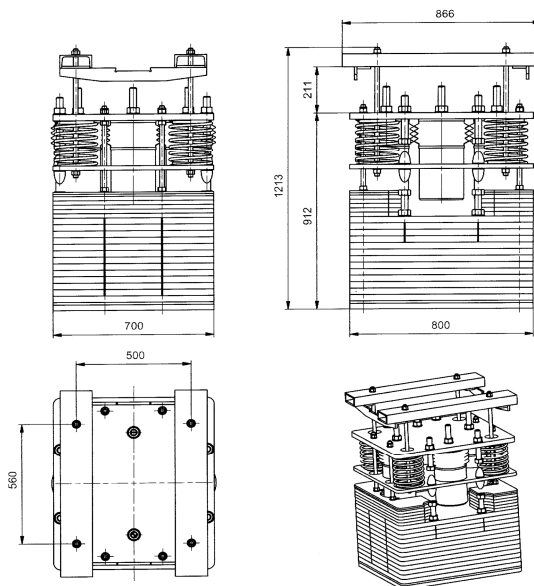
W konstrukcji tłumików zastosowanych dla kładki wprowadzono elastyczne ograniczniki ruchu. Ograniczniki te zabezpieczają konstrukcję przed uszkodzeniem w przypadku wyjątkowo wysokich amplitud drgań. Tłumiki wiskotyczne składają się z tłoka umieszczonego w cylindrze z cieczą o wysokiej lepkości. Umożliwiają one tłumienie drgań zarówno w kierunku wzdłużnym jak i poprzecznym do osi tłumika masowego. Zadaniem tłumików wiskotycznych jest rozszerzenie zakresu częstotliwości, przy których drgania są skutecznie tłumione. Po zamocowaniu tłumików stwierdzono, że zmniejszeniu uległy amplitudy drgań oraz zwiększone zostało ich tłumienie.

Producent we własnym zakresie na podstawie analizy modalnej (zbudowano model obliczeniowy wykorzystując Metodę Elementów Skonczonych - MES) oraz badań na kładce i testów fabrycznych, dobrał ilość, masę ich tłumienia i stosowną amplitudę pracy (luz), tak

aby uzyskano optymalny efekt redukcji drgan. Firma GERB opracowała też sposób zamocowania tłumików do konstrukcji przesła kładki z połączeniami na sruby (rys. 3, 4), a jego weryfikacja pod względem statycznym leżała w gestii projektanta kładki. Ogólny koszt wyprodukowania tłumików, ich transportu oraz zamontowania wyniósł około 1/10 ogólnej kwoty przebudowy kładki. Montaż tłumików, po wyjeciu kilku desek dyliny pomostu, wykonano przy użyciu pchacza i barki, która dostarczona tłumiki pod przesło kładki oraz podnosnika widlowego ustawionego na pomostie (rys. 5).



Rys. 3. Ogólna konstrukcja tłumików zamontowanych w  $\frac{1}{4}$  i  $\frac{3}{4}$  rozpiętości przesła kładki



Rys. 4. Ogólna konstrukcja tłumika zamontowanego w  $\frac{1}{2}$  rozpiętości przesła kładki

a)



b)



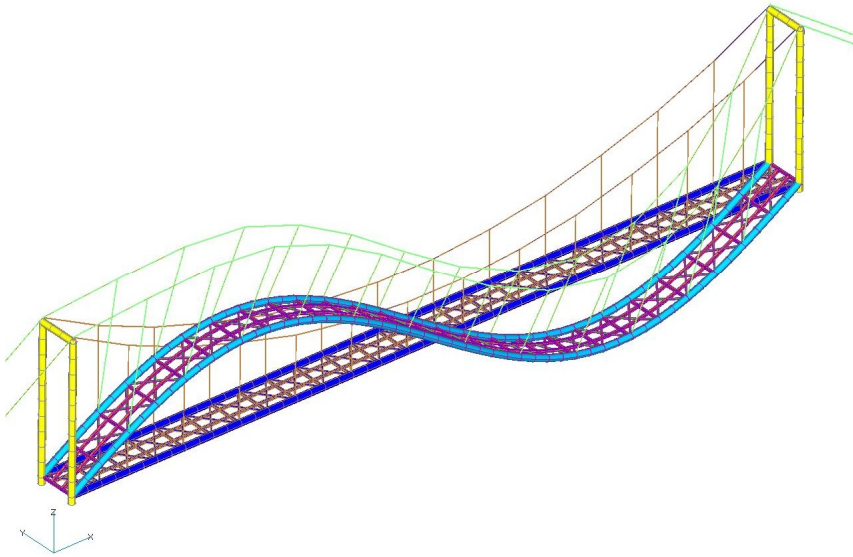
Rys. 5. Przebieg montażu tłumików w  $\frac{1}{4}$  (a) i w  $\frac{1}{2}$  (b) rozpiętości przęsła



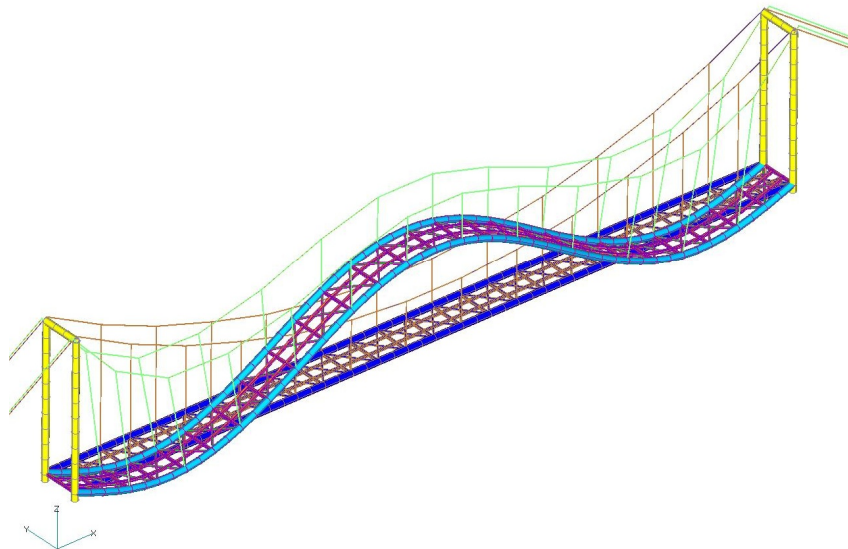
#### 4. Wyniki obliczen MES

W celu ustalenia czestotliwosci i postaci drgan wlasnych kladki przeprowadzono obliczenia przy pomocy Metody Elementów Skonczonych (MES). Na rysunku 6 pokazano obliczeniowe postacie dla dwóch pierwszych czestotliwosci drgan wlasnych.

a)



b)

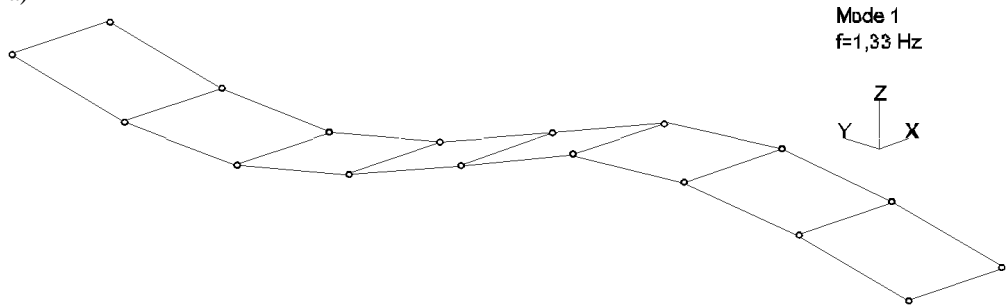


Rys. 6. Wyniki analizy MES- postacie drgan wlasnych przy czestotliwosciach: a) 1.4 Hz, b) 1.6 Hz

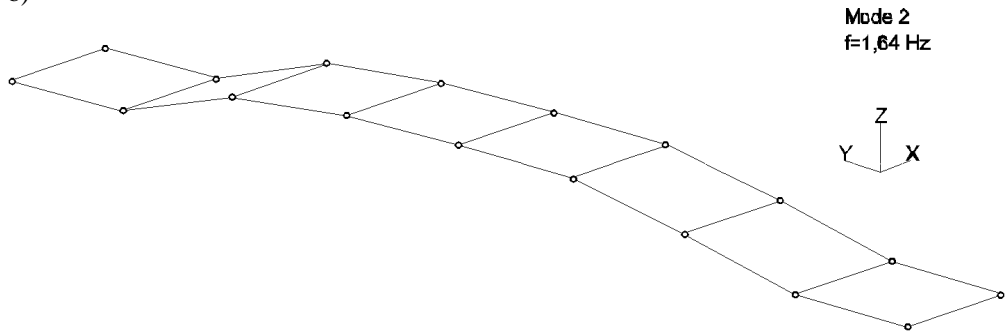
## 5. Wyniki pomiarów na obiekcie

Na rysunku 7 pokazano postacie drgan własnych kładki uzyskane w wyniku przeprowadzonych pomiarów. Do pomiaru zastosowano analizator drgan umożliwiający przeprowadzenie Analizy Modalnej.

a)



b)



Rys. 7. Wyniki Analizy Modalnej- zmierzone postacie drgan własnych przy częstotliwościach: a) 1.33 Hz, b) 1.64 Hz

Każdy z węzłów przedstawiony na rysunku 7 oznacza punkt pomiaru drgan.

Na podstawie wyników obliczeń oraz pomiarów przyjęto rozwiązanie konstrukcyjne tłumików i ich parametry (masy, sztywności, ilość sprężyn oraz konstrukcja tłumika wiskotycznego). Należy zaznaczyć, że przed zamontowaniem masowych tłumików drgan kładki była bardzo łatwa do wzbudzenia, tj. również podczas normalnego przechodzenia były odczuwalne drgania. Przy wzbudzaniu kładki w jej środku lub przy  $\frac{1}{4}$  i  $\frac{3}{4}$  długości przez jedną lub kilka osób skaczących dochodziło do bardzo dużych amplitud drgan powyżej 10 cm.

Dzięki zastosowaniu tłumików masowych w środku kładki oraz przy  $\frac{1}{4}$  i  $\frac{3}{4}$  jej długości, tj. w miejscach o największej amplitudzie, uzyskano wyraźne zmniejszenie drgan. Tłumik w  $\frac{1}{2}$  rozpiętości przesła służy do wytlumienia 2. częstotliwości drgan własnych a tłumiki zamontowane w  $\frac{1}{4}$  i  $\frac{3}{4}$  rozpiętości przesła służy dla wytlumienia 1. częstotliwości drgan własnych. Tłumiki masowe drgając w fazie przeciwnej do drgan kładki wytwarzają siły przeciwstawne do sił bezwładności kładki i zmniejszają przez to jej drgania. Dzięki obecności tłumików wiskotycznych podwyższone zostaje tłumienie w układzie, które w przypadku rozwazanej konstrukcji kładki i badanego zakresu częstotliwości było bardzo niskie. W przedstawionym w ramach referatu filmie video widac bardzo wyraźne różnice w zachowaniu kładki przed i po zamontowaniu masowych tłumików drgan.

## 6. Podsumowanie

W referacie przedstawiono redukcje drgan uzyskana przy pomocy masowych tłumików drgan na przykladzie „Zabiej Kladki” we Wroclawiu. Dzieki zastosowaniu tych tłumików nie jest mozliwe wzbudzenie konstrukcji kladki do drgan rezonansowych nawet w przypadku ekstremalnych wymuszen. Przeprowadzone obliczenia i pomiary mialy na celu ustalenie czestotliwosci drgan wlasnych (rezonansowych). Wyniki obliczen i pomiarów stanowiły podstawe do wyboru rozwiazania konstrukcyjnego tłumików drgan. Tlumiki powinny posiadac czestotliwosc drgan odpowiadajaca czestotliwosci drgan wlasnych kladki. Nalezy zaznaczyc, ze opisane tlumiki drgan cechuja sie bardzo wysoka trwaloscia i nie wymagaja obslugi przez wiecej niz 20 lat. Rozwiazanie to jest równiez bardzo ekonomiczne w porównaniu z kosztami rozwiazan majacych na celu podwyzszenie sztywnosci kladki.

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. Dz.U. nr 63, poz. 735
- [2] Den Hartog, Drgania mechaniczne, 1982
- [3] Dallard P., i inni, The London Millennium Footbridge. The Structural Engineer, vol. 79, Nov. 2001, no. 22
- [4] Rabiega J., Projekt wykonawczy systemu tlumiacego dla Zabiej Kladki nad rzeka Odra przy ul. Drobnera we Wroclawiu. MOSTY, Ramiszów, 2003
- [5] Rabiega J., Przegląd specjalny po powodzi Zabiej Kladki nad rzeka Odra Miejska we Wroclawiu. MOSTY, Wroclaw, 1998
- [6] Rabiega J., Legosz A., Modernizacja Zabiej Kladki nad Odra we Wroclawiu. X Seminarium „Współczesne metody wzmacniania i przebudowy mostów”. Instytut Inzynierii Ladowej Politechniki Poznanskiej, Poznan 2000.
- [7] Rabiega J., Przebudowa kladki Zabiej przez Odre we Wroclawiu. Inzynieria i Budownictwo nr 1-2/2004
- [8] Pretlove A.J., Rainer J.H., Bachmann H., Mosty dla pieszych. Konferencja Fottbridge 2002. Paryz.
- [9] Biliszczuk J., Hawryszków P., Szczepanik K., Stempin P., Dzialanie tlumu na kladki dla pieszych. Inzynieria i Budownictwo nr 8/2003, s. 440-445

## USING THE DAMPERS FOR VIBRATION REDUCTION OF PEDESTRIAN BRIDGES

### Summary

The reduction of structural vibrations of the pedestrian bridge „Zabia Kladka” in Wroclaw due to using of the mass dampers from has been presented in this paper. The results of theoretical and experimental studies of pedestrian bridge vibration has been described. The natural frequencies of the bridge has been calculated using FEM (Final Element Method) and measured with EMA (Experimental Modal Analysis). Based on the results of these calculations and measurements the mass dampers has been designed and mounted to the bridge structure. The measurements after the assembly of dampers shows high efficiency of the dampers at the first natural frequencies of the pedestrian bridge at 1.4 Hz and 1.6 Hz.