

Strojenie tłumików masowych na przykładzie Stadionu Miejskiego w Poznaniu

Piotr Wielgos¹

¹ *Katedra Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: p.wielgos@pollub.pl*

Streszczenie: W pracy przedstawiono tematykę związaną z doбором wielokrotnych, strojonych tłumików masowych na przykładzie Stadionu Miejskiego w Poznaniu. Skupiono się na zagadnieniach projektowych, w szczególności doborze parametrów tłumików masowych, ich rozmieszczenia na konstrukcji głównej stadionu (w tym celu przeprowadzona została pełna analiza modalna ustroju) oraz optymalizacji parametrów tłumików pod kątem oddziaływania dynamicznego wiatru za pomocą autorskiego programu optymalizującego. Przeprowadzono także weryfikację przyjętych założeń projektowych, poprzez badania dynamiczne zaprojektowanych strojonych tłumików masowych (STM) oraz przedstawiono wyniki badań dynamicznych na rzeczywistym obiekcie. W podsumowaniu przedstawiono wnioski płynące z analiz numerycznych i doświadczalnych.

Słowa kluczowe: tłumiki masowe, wielokrotne strojone tłumiki masowe, optymalizacja, analiza dynamiczna.

1. Wprowadzenie

Wielokrotne, strojone tłumiki masowe (WSTM) stanowią obecnie coraz liczniejszą grupę rozwiązań eliminujących różnego rodzaju drgania wywołane obciążeniami dynamicznymi. Wypierają one rozwiązania oparte na pojedynczych, strojonych tłumikach masowych (STM). W związku z tym, istotne staje się poszukiwanie optymalnych parametrów takiego typu tłumików. Obliczone częstotliwości drgań własnych ustrojów budowlanych różnią się nieznacznie od rzeczywiście pomierzonych częstotliwości na zrealizowanych obiektach, dlatego też, stosowanie WSTM nastrojonych na częstotliwości bliskie częstotliwości rezonansowej, może przynieść lepsze efekty w postaci redukcji drgań, niż pojedynczy STM nastrojony dokładnie na częstość rezonansową (por Igusa i Xu [1]). W pracach Zhang i Soong [2] można znaleźć procedury umożliwiające przyjęcie jak najlepszego rozkładu WSTM na konstrukcji głównej przy stałych, zadanych parametrach WSTM. Sam proces optymalizacji może odbywać się za pomocą różnego rodzaju metod optymalizacyjnych (por. Li i Ni [3]).

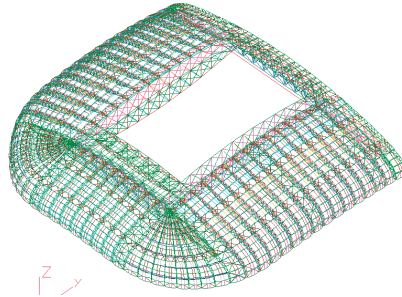
W pracy skupiono się na doborze parametrów WSTM oraz ich optymalizacji, dla rzeczywistej konstrukcji. Nie opisano autorskich metod optymalizacyjnych oraz modelu matematycznego budowy równań ruchu konstrukcji z zainstalowanymi WSTM. Szczegółowo opisane są one w pracach Flaga i Wielgos [4,5] oraz Wielgos [6]. Przedstawione zostaną także wyniki analiz numerycznych i wyniki badań dynamicznych WSTM oraz Stadionu Miejskiego w Poznaniu z zainstalowanymi WSTM.

2. Projekt strojonych tłumików masowych na przekryciu Stadionu Miejskiego w Poznaniu

Przekrycie stadionu Miejskiego w Poznaniu zaprojektowano, jako przekrycie wielkopołaciowe. Analizowane przekrycie, było przedmiotem pełnej analizy dynamicznej przy oddziaływaniu wiatru na ustrój oraz analizy ustroju z dołączonymi WSTM (por. Flaga i in. [7]). Ustrój główny nośny stanowią cztery dźwigary łukowe oparte na czterech pylonach żelbetowych. Na konstrukcji głównej wsparte są łukowe kratownice. Membrana powłoki rozparta jest na dodatkowych elementach łukowych, które przekazują obciążenia

na kratownice łukowe.

Model MES przekrycia stadionu został opracowany na podstawie modelu obliczeniowego z programu **ROBOT**. Wszystkie elementy zamodelowano jako elementy ramowe lub kratownicowe. Na Rys. 1 przedstawiono schemat modelu ustroju.



Rys. 1. Model MES konstrukcji przekrycia Stadionu Miejskiego w Poznaniu (system ALGOR)

W celu określenia podatności ustroju oraz miejsc o największych wartościach postaci drgań własnych przeprowadzono analizę modalną. Na jej podstawie zostało wyznaczonych pięćdziesiąt wartości i postaci drgań własnych ustroju (tabela 1 zawiera zestawienie podstawowych postaci drgań).

Tabela 1. Częstotliwości drgań własnych konstrukcji stadionu

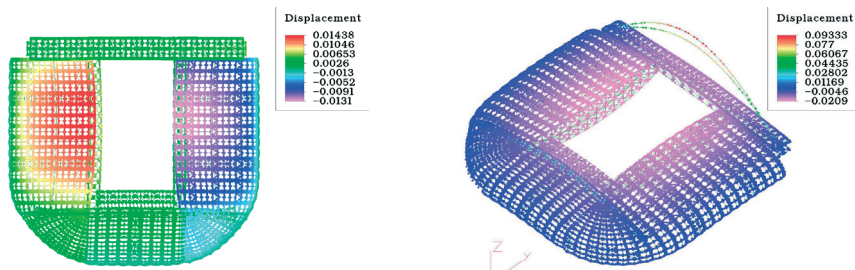
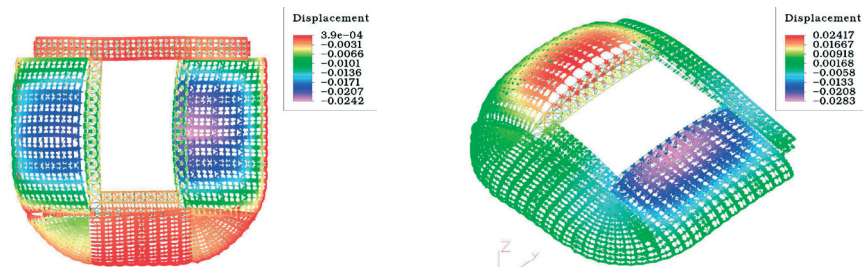
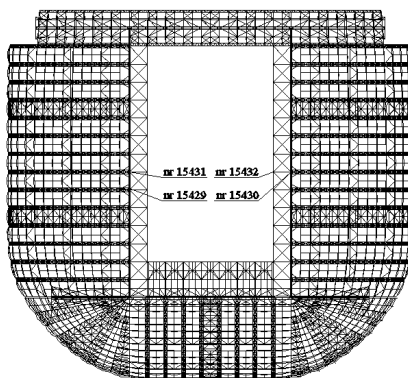
Nr postaci drgań	Częstotliwość f_i [Hz]	Opis formy drgań
1	0,61551	Drgania ustroju głównego po kierunku Y
2	0,78427	Drgania ustroju głównego na kierunku Z
3-10	od 0,79824 do 0,83556	8 form drgań kabli dźwigarów
11	0,97861	Drgania antysymetryczne dźwigarów podłużnych i powłok
12	1,0406	Drgania symetryczne ustroju po kierunku Z oraz X
13	1,2042	Drgania antysymetryczne ustroju po kierunku Y

Z punktu widzenia dynamicznego oddziaływania wiatru na przedmiotowe przekrycie najbardziej istotne są następujące częstotliwości i związane z nimi postaci drgań własnych:

- 1 postać drgań własnych (drżania ustroju głównego po kierunku Y), której odpowiada częstotliwość $f_1=0,616$ Hz);
- 2 postać drgań własnych (drżania ustroju głównego na kierunku Z) przedstawiona na rys. 2, której odpowiada częstotliwość $f_2=0,784$ Hz);
- 11 postać drgań własnych (drżania antysymetryczne dźwigarów podłużnych i powłok) przedstawiona na rys. 3, której odpowiada częstotliwość $f_{11}=0,979$ Hz).

Druga oraz jedenasta postać drgań charakteryzuje się dużymi rzędnymi na kierunku Z . W postaciach tych występują bardzo małe rzędne na dźwigarze południowym i ramach kratowych w tym rejonie. Będą one miały podstawowe znaczenie przy oddziaływaniu wiatru na przekrycie stadionu. Poza omówionymi postaciami w zakresie do 2Hz drgań istnieje szereg postaci, w których biorą udział dźwigary podłużne wraz z przylegającymi kratownicami drugorzędnymi. Podsumowując, należy stwierdzić, iż przedmiotowe przekrycie charakteryzuje się prawie 50 częstościami drgań własnych poniżej 2Hz, a więc w zakresie częstości odpowiadających oddziaływaniu wiatru. Część postaci drgań własnych będzie stanowiła istotny składnik w drżaniach ustroju przy oddziaływaniu wiatru dla określonych kierunków natarcia.

Tłumiki drgań zdecydowano się ulokować w miejscach największych amplitud drgań możliwych do wzbudzenia przez wiatr. Przyjęto lokalizację WSTM w środku rozpiętości dźwigarów głównych. Miejsca usytuowania STM pokazano na Rys. 4. Należy stwierdzić, iż pierwsza postać drgań własnych ($f_1=6.1551E-01$ Hz) oraz postacie od 12 do 14 (częstotliwości $f_{12}=1,041$ Hz do $f_{14}=1.2391E+00$ Hz) będzie bardzo słabo tłumiona przez dodatkowo zainstalowane STM (brak rzędnych postaci drgań na kierunku Z).

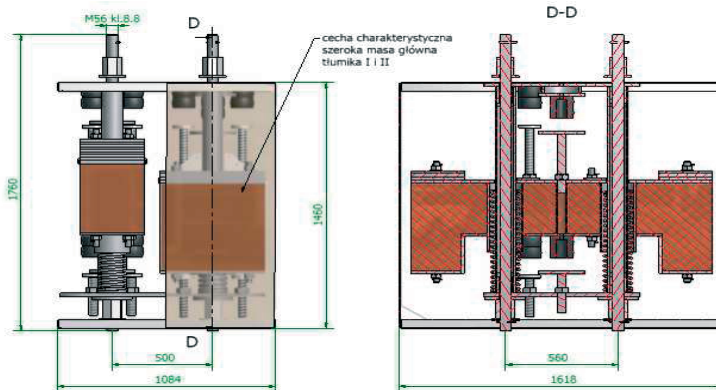
Rys. 2. Druga postać drgań własnych, $f_2=0,78427$ Hz; rzędne postaci na kierunku X oraz Z Rys. 3. Jedenasta postać drgań własnych, $f_{11}=0,97861$ Hz; rzędne postaci na kierunku X oraz Z 

Rys. 4. Schemat umiejscowienia WSTM

Uwzględniając fakt bliskości częstotliwości drgań własnych – zdecydowano się na zastosowanie wielokrotnych strojonych tłumików masowych (WSTM), w liczbie ośmiu (po 4 na każdym z dźwigarów kratowych podłużnych). Charakterystyki STM leżących po stronie wschodniej i zachodniej stadionu były jednakowe. Przyjęty cztery podwójne strojone tłumiki drgań. Rys. 6 jest rysunkiem złożeniowym tłumików WSTM. STM I oraz STM II zblokowany został w jeden WSTM o wspólnym zamocowaniu do konstrukcji głównej, zaś STM III oraz IV także został zblokowany w WSTM (podwójny STM) o wspólnym zamocowaniu do konstrukcji nośnej ustroju. WSTM z tłumikami STM I oraz STM2 został dołączony w węzle 15431 oraz 15432, zaś WSTM z tłumikami STM I oraz STM2 został dołączony w węzle 15429 oraz 15430.

Projekt techniczny STM został opracowany przez zespół prof. Andrzeja Flagi. Tłumik składa się z płyty dolnej i płyty górnej, na których dospawane są tuleje (Rys. 5). Na tulejach są osadzone grubościennie rury. Pasowanie tych elementów jest suwliwe, umożliwiając demontaż całego tłumika. Na dwóch sprężynach osadzona jest masa główna tłumika, strojona na odpowiednią częstotliwość. Zespolecie dwóch takich systemów stanowi jeden podwójny tłumik masowy. Masy główne tłumików składają się z dwóch płyt stalowych

ocynkowanych połączonych ze sobą rurą prowadzącą (przewodzenie zewnętrzne sprężyn) i wypełnione betonem B25. Dodatkowo na masach głównych instalowane są masy doważające (niezbędne do dostrojenia tłumików). W górnej i dolnej części tłumika zainstalowane są tubusy spełniające rolę elementów tłumiących w górnym zakresie przemieszczeń mas głównych.



Rys. 5. Wymiary gabarytowe „tłumika masowego I i II” z częściowo zdjętą osłoną akustyczną.

W tabeli poniżej przedstawiono charakterystyczne wielkości charakteryzujące prace pojedynczych STM. Zaprojektowano sprężyny o podanych charakterystykach. Przyjęto minimalną masę każdego z STM oraz określono masę dodatkową wynikającą z nastrojenia STM oraz nośności sprężyn. Dla określonych mas – masy minimalnej i maksymalnej określono częstotliwości drgań własnych STM odpowiednio maksymalne i minimalne. Takie przyjęcie parametrów częstotliwościowych pozwoliło na pokrycie prawie całego pasma częstotliwości drgań własnych od 0,76Hz do 1,32Hz.

Tabela 2. Zestawienie charakterystyk STM

Nr STM	Stała pojed. sprężyny	Stała układu sprężyn	Zakres częstotliwości			Zakres masy (strojenie tłumika)			Masa dodatkowa
			f_{min}	f	f_{max}	m_{max}	m	m_{min}	
	[N/m]	[N/m]	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
I	12120	24240	0,75788	0,77950	0,80310	1 069	1 011	952	117
II	12120	24240	0,88497	0,93390	0,99196	784	704	624	160
III	21000	42000	0,99574	1,01953	1,04512	1 073	1 024	974	99
IV	21000	42000	1,23457	1,27738	1,32498	698	652	606	92

3. Optymalizacja parametrów WSTM

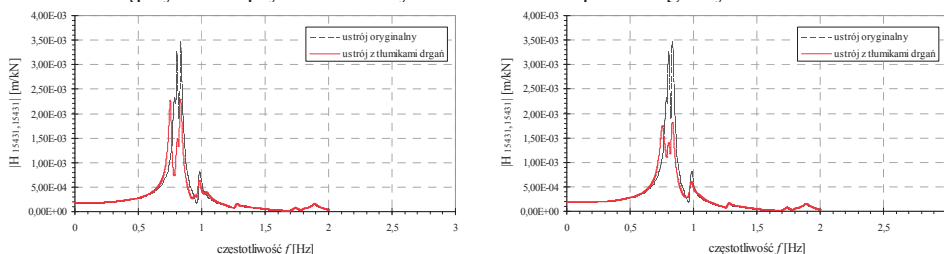
W procesie optymalizacji wykorzystano autorski program DAMP-SYM [5,6]. Przyjęto stałą wartość k_{iis} oraz γ_i i optymalizowano parametr m_{ii} poszczególnych STM. Zastosowano optymalizację metodami genetycznymi i symulowanego wyżarzania. Funkcję celu przyjęto w postaci sumy całek oznaczonych z modułu transmitancji $H_{kk}(\lambda)$ po k -tych stopniach swobody ustroju, gdzie zamocowano WSTM.

$$F3 = \sum_{k=1}^{N_k} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} |H_{kk}(\lambda)| d\lambda \quad (1)$$

Przedział częstotliwości przy określaniu funkcji celu wynosił od 0,5Hz do 1,4Hz. Ponieważ wszystkie elementy są wykonane ze stali, przyjęto w programie wartość $\Delta=0,06$ dla całej konstrukcji, zaś ułamek tłumienia krytycznego dla wszystkich STM przyjęto równy $\gamma_{it}=0,04$. W tabeli 3 przedstawiono wartości optymalnego nastrojenia STM otrzymane po zakończeniu procesu optymalizacji. Można zaobserwować, iż maksymalne

masy wynikające z nośności sprężyny dla niektórych tłumików zostały przekroczone. Wynika to z braku możliwości ograniczenia zmiennych decyzyjnych osobno dla każdego STM. W rzeczywistości, po przeprowadzeniu badań drgań własnych na wybudowanym obiekcie, parametry tłumików STM II oraz STM IV można będzie dostosować do rzeczywistych częstotliwości. Należy też zwrócić uwagę na pełen zakres działania STM przy częstotliwościach 0,8Hz-1,05Hz oraz 1,23-1,32Hz.

Poniżej przedstawiono wykresy modułów transmitancji w węzłach, gdzie dołączono STM dla wstępnych i zoptymalizowanych wartości mas poszczególnych STM.



Rys. 6. Funkcja przenoszenia w węźle 15431 na kier Z przed procesem optymalizacji oraz po procesie optymalizacji

Z powyższych wykresów wynika, że we wszystkich przypadkach obserwujemy redukcję współczynnika wzmocnienia (modułu transmitancji) w analizowanym obszarze częstotliwości od 0,75Hz-1,1Hz. Dla wyższych częstotliwości drgań (powyżej 1,3Hz) nie obserwujemy znaczących zmian wartości modułów transmitancji mechanicznej, a jedynie nieznaczne przesunięcie widma.

Tabela 3. Wartości parametrów początkowych i po procesie optymalizacji poszczególnych STM

Nr STM	Nr węzła	m_{i1}	$m_{i1\text{ opt}}$	k_{i1}	γ_{i1}
		[kg]	[kg]		
I	15431	1011	1017,3	24240	0,04
I	15432	1011	1012,4	24240	0,04
II	15431	704	984,8	24240	0,04
II	15432	704	1007,1	24240	0,04
III	15429	1024	1106,5	42000	0,04
III	15430	1024	1118,6	42000	0,04
IV	15429	652	1133,4	42000	0,04
IV	15430	652	1141,8	42000	0,04

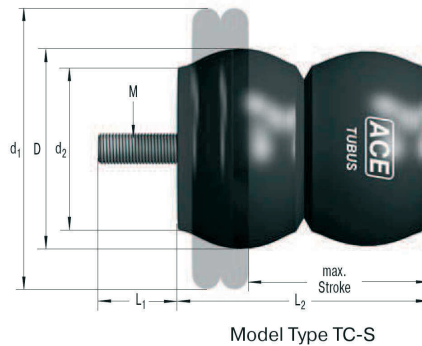
4. Badania strojonych tłumików masowych do redukcji drgań

Program badań obejmował zastosowanie różnych elementów tłumiących zastosowanych w konstrukcji STM spełniających rolę tłumików w górnym zakresie przemieszczeń mas głównych. Ze względu na specyficzną pracę STM (praca z luzem pomiędzy elementem tłumiącym - tubusem a płytą oporową) określono tłumienie własne pojedynczych STM w dwóch fazach:

- faza tłumienia własnego elementów STM (tarcie w sprężynach, prowadnicach itd);
- faza oddziaływania tubusa elastomerowego.

Analizowano trzy rodzaje tubusów oraz wielkość luzu tubusa dla których znane były charakterystyki pracy dynamicznej [7]. W badaniach przyjęto oznaczenia tubusów elastomerowych, jako: TC134-146-S, TC74-76-S, TCPL.

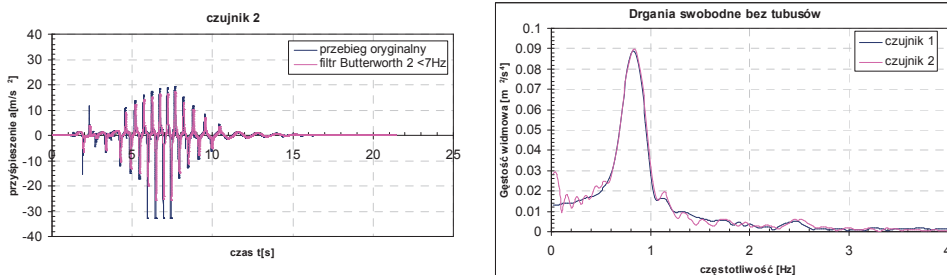
Układ pomiarowy zastosowany w badaniach składał się akcelerometrów B200, firmy HBM, mierzących przyspieszenia w jednym kierunku, analizatora analogowo-cyfrowego Spider 8, firmy HBM, komputera przenośnego z oprogramowaniem Catman 4.0. Komputer i oprogramowanie służyło zapisywaniu sygnału z wcześniej określoną częstotliwością. Program Catman 4.0 pozwalał również na obróbkę danych (przeprowadzenie filtracji i transformat Fouriera na uzyskanych przebiegach przyspieszeń).



Rys. 7. Schemat tubusa elastomerowego TC134-146-S

Wzbudzenie drgań następowo przez ręczne wymuszenie drgań przez dwie osoby. Wymuszenie realizowane było z częstotliwością bliską częstotliwości drgań własnych poszczególnych STM. Czas trwania drgań wymuszonych wynosił około 10-15s. Potem następował faza drgań swobodnych tłumionych, w której można było wyróżnić fazę oddziaływania tubusów (elementów tłumiących) oraz fazę drgań swobodnych z tłumieniem sprężyn (tarcie elementów) bez oddziaływania tubusa.

Częstotliwość próbkowania dla wszystkich przeprowadzonych serii badań wynosiła 600Hz, krok czasowy wynosił $\Delta t=0.00167s$. Na pomierzonych sygnałach przeprowadzono filtrację dolnoprzepustową filtrem Butterworth drugiego rzędu. Granicę filtracji przyjęto $<7Hz$. Przykładowy przebieg czasowy przyspieszeń i gęstości widmowej mocy przyspieszeń dla STM I z TC134-146-S z luzem na tubusie wynoszącym 50mm przedstawiono poniżej.



Rys. 8. Przebieg czasowy przyspieszeń oraz gęstość widmowa mocy przyspieszeń po obróbce

Tabela 4. Wartości częstotliwości i ułamka tłumienia krytycznego dla wszystkich STM

STM	masa drgająca [kg]	luz tubusa [mm]	częstotliwość obliczeniowa f_0 [Hz]	oddziaływanie tubusa		bez oddziaływania tubusa	
				średnia częstotliwość	ułamek tłumienia krytycznego	częstotliwość	ułamek tłumienia krytycznego
				f_1 [Hz]	γ [-]	f_1 [Hz]	γ [-]
STM1	952	50	0,803	0,980	0,048	0,830	0,045
	952	100	0,803	0,900	0,029	0,830	0,028
STM2	624	50	0,992	1,180	0,039	1,020	0,031
	624	100	0,992	1,080	0,024	1,020	0,025
STM3	974	50	1,045	1,060	0,022	1,040	0,020
	974	100	1,045	1,050	0,035	0,990	0,030
STM4	606	50	1,325	1,350	0,032	1,320	0,022
	606	100	1,325	1,330	0,019	1,320	0,022

Na podstawie wykresu gęstości widmowych mocy odczytano częstotliwości drgań własnych poszczególnych STM. W analizowanym przypadku była to częstotliwość $f=0,85\text{Hz}$.

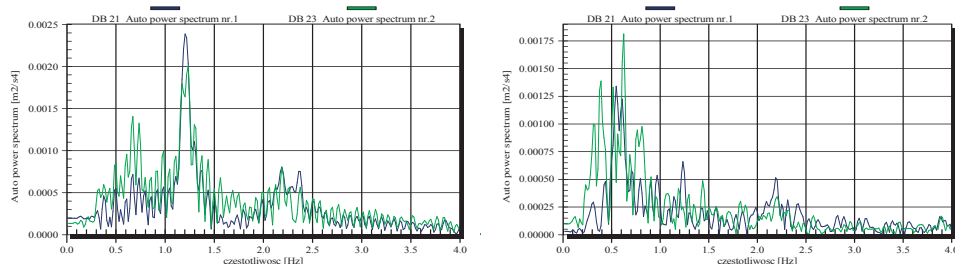
W celu określenia wartości tłumienia pojedynczego STM wyznaczono wartości minimalne i maksymalne dla całego przebiegu poddanego filtracji filtrem dolnoprzepustowym, odcięto wartości odpowiadające wymuszeniu i zamieniono wartości ujemne na dodatnie (por. Bendat i Piersol [8]). Dla tak otrzymanych wartości dopasowano krzywą Ae^{Bt} w programie Catman 4.0 dla obu faz pracy tłumika. Otrzymano wartości współczynników A oraz B . Ze współczynnika B wyznaczono ułamek tłumienia krytycznego $\gamma=B/(4\pi f)$.

Po przeprowadzeniu założonego programu badań określono rodzaj tubusa oraz wielkość luzu, które będą najkorzystniejsze pod względem pracy STM. Przyjęto luz 75mm oraz tubus TCPL. W tabeli 4 zestawiono parametry wszystkich STM z TCPL. Ułamki tłumienia krytycznego oscylują w granicach $0,19 < \gamma < 0,45$ dla różnych faz pracy STM.

5. Badania dynamiczne stadionu z zainstalowanymi WSTM

Celem badań była identyfikacja częstotliwości drgań własnych konstrukcji Stadionu Miejskiego w Poznaniu wraz z oddziaływaniem WSTM zainstalowanych na tej konstrukcji. Identyfikacja ta pozwoliła stwierdzić zgodność założeń projektowych z charakterystyką dynamiczną wykonanych STM. Program badań obejmował pomiar przebiegów drgań umożliwiających określenie charakterystyki dynamicznej konstrukcji z zablokowanymi tłumikami STM oraz określenie wpływu tłumików na zachowanie dynamiczne konstrukcji (odblokowane STM).

W celu identyfikacji częstotliwości drgań własnych konstrukcji przyjęto wymuszenia w połowie rozpiętości dźwigara podłużnego oraz na krańcach południowym i północnym. Dwa czujniki nr 1 oraz 2 zostały rozmieszczone na dźwigarze, pierwszy w połowie rozpiętości dźwigara, drugi przy końcu dźwigara. Natomiast cztery akcelerometry zostały rozmieszczone bezpośrednio na masach drgających strojonych tłumików masowych STM1 do STM4 (czujniki nr 3-6). Omówiony sposób rozmieszczenia pozwolił na identyfikację drgań konstrukcji głównej (czujniki 1 oraz 2), oraz zachowania strojonych tłumików masowych (czujniki 3-6). Wymuszenie realizowane było na pomoście poprzez skakanie 6 osób z częstotliwością około 1Hz na pomoście roboczym umiejscowionym wzdłuż dźwigara wschodniego. Częstotliwość próbkowania dla wszystkich przeprowadzonych serii badań wynosiła 4096Hz, krok czasowy wynosił $\Delta t=0.0002441\text{s}$. Na pomierzonych sygnałach przeprowadzono obróbkę danych jak podczas badań dynamicznych STM. Przykładowe wykresy gęstości widmowej mocy przyspieszeń dla akcelerometrów przy zablokowanych i odblokowanych STM przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Gęstość widmowa mocy przyspieszeń przy zablokowanych odblokowanych WSTM

Na wykresach gęstości widmowej możemy zaobserwować częstotliwości drgań własnych konstrukcji wynoszące 1,21Hz, 2,18Hz oraz 2,40Hz. Niestety w granicach częstotliwości do 1,25Hz z obliczeń MES otrzymano szereg postaci drgań własnych, więc identyfikacja postaci drgań własnej odpowiadającej 1,21Hz jest bardzo trudna. Rozpatrując wykresy gęstości widmowych mocy przebiegów drgań w przypadku zablokowanych tłumików i nie zablokowanych możemy stwierdzić iż STM działają skutecznie w okolicy częstotliwości 1,21 Hz (zmniejszenie rzędnych spectrum dla odblokowanych STM).

Pozostałe częstotliwości drgań własnych nie są redukowane (częstotliwości 2,18Hz oraz 2,40Hz).

6. Podsumowanie

W pracy przedstawiono pełen tok postępowania przy projektowaniu wielokrotnych strojonych tłumików masowych na przykładzie Stadionu Miejskiego w Poznaniu. Poprzez zastosowanie autorskiego programu optymalizacyjnego oraz własnego modelu matematycznego budowy równań ruchu konstrukcji z zainstalowanymi WSTM, możliwe było zaprojektowanie, dobór parametrów STM oraz ich optymalizacja.

Należy także nadmienić, iż częstotliwości drgań własnych mogą z czasem ulec zmianie. Dlatego też istnieje możliwość dostrojenia parametrów tłumików STM, jest to możliwe dzięki pełnemu zakresowi działania STM przy częstotliwościach 0,8Hz-1,05Hz oraz 1,23-1,32Hz.

Literatura

- 1 Igusa T., Xu K. Vibration control using multiple tuned mass dampers. *Journal of Sound and Vibration* 175, Issue 4 (1994) 491–503.
- 2 Zhang R. H., Soong T. T. Seismic design of viscoelastic dampers for structural applications. *Journal of Structural Engineering* 118 (1992) 1375–1392.
- 3 Li H. N., Ni X. L. Optimization of non-uniformly distributed multiple tuned mass damper. *Journal of Sound and Vibration* 308, Issues 1–2 (2007) 80–97.
- 4 Flaga, A., Wielgos, P. Zagadnienia optymalizacji parametrów wielokrotnych strojonych tłumików masowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika* 74 [258] (2008) 73–84.
- 5 P. Wielgos, A. Flaga. The optimisation of multiple tuned mass dampers parameters. The theoretical basis and numerical examples in: *Recent Advances in Research on Environmental Effects on Buildings and People*. (ed. Flaga A., Lipecki T.) Polish Association For Wind Engineering, Cracow 2010, s.423-432.
- 6 Wielgos P. Rozprawa doktorska: Ocena skuteczności działania wielokrotnych, strojonych tłumików masowych w konstrukcjach budowlanych; Politechnika Lubelska; Lublin 2010.
- 7 Z. Siekierda, A. Flaga, P. Wielgos, T. Lipecki, Tuned mass dampers with elastomeric limiters. Theory and research in: *Recent Advances in Research on Environmental Effects on Buildings and People*. (ed. Flaga A., Lipecki T.) Polish Association For Wind Engineering, Cracow, Poland 2010, s. 433-442.
- 8 Bendat J., Piersol A. *Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych*, PWN, Warszawa 1976.

The tune of mass dampers for the Municipal Stadium in Poznan

Piotr Wielgos¹

¹ *Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: p.wielgos@pollub.pl*

Abstract: This paper presents the issues related to the design of the multiple tuned mass dampers (MTMD) for the Municipal Stadium in Poznan. It is focused on the design issues, in particular the selection of parameters of mass dampers, their location at the main structure (in this case the full modal analysis was carried out) and the optimization of dampers parameters (the optimization algorithm DAMP-SYM application was used). The verification of the assumptions made during the design stage was carried out, taking into account the dynamic tests of TMD as well as the measurements on the real object of Municipal Stadium in Poznan.

Keywords: dynamic analysis, tuned mass damper, optimisation.