

Lucjan JANAS
Rafał BASIAGA
Politechnika Rzeszowska

BADANIA DYNAMICZNE PODWIESZONEJ KŁADKI DLA PIESZYCH W RZESZOWIE

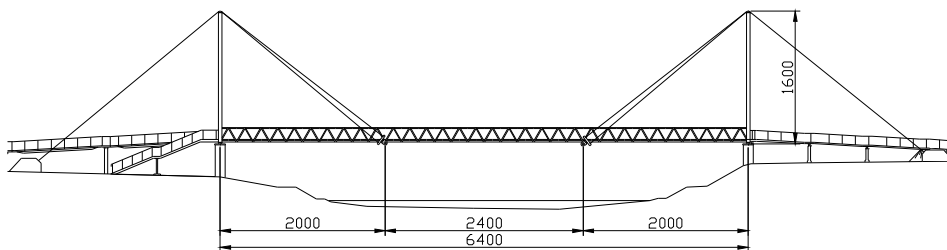
W artykule przedstawiono wyniki analizy obliczeniowej i badań doświadczalnych podwieszanej kładki dla pieszych. Obliczenia wykonano, przyjmując trzy modele obliczeniowe i stosując kilkanaście schematów obciążeniowych. Wśród schematów były zarówno obciążenia użytkowe (przejście pieszego, grupy pieszych), jak i obciążenia wandalistyczne (obciążenia synchroniczne). Wyniki badań doświadczalnych porównano z wynikami obliczeń i kryteriami komfortu użytkowania kładki dla pieszych.

1. Wprowadzenie

Stosowanie nowoczesnych materiałów, technologii i technik obliczeniowych powoduje, że obecnie projektowane kładki dla pieszych są dłuższe, lżejsze i smuklejsze od starszych, krótszych i masywniejszych rozwiązań. Nowe podejście do projektowania nie pozostaje bez wpływu na właściwości dynamiczne kładek – często wpływu niekorzystnego. Zdarza się, że niskie częstotliwości drgań własnych nowych konstrukcji pokrywają się z częstotliwością kroków użytkownika (podczas chodzenia lub biegania), co może powodować wzbudzenie drgań o charakterze rezonansowym. Uwzględnienie w czasie projektowania kładek wyłącznie obciążeń statycznych i pominięcie oddziaływań dynamicznych może doprowadzić do tego, że kładka będzie mniej stabilna, bardziej podatna na drgania pionowe i poziome, a tym samym mniej komfortowa dla użytkowników. Zagadnieniom związanym z problemem drgań kładek dla pieszych poświęca się w ostatnich latach coraz więcej uwagi (np. [1, 2]), ponieważ drgania nowo wybudowanych konstrukcji mogą wywoływać u pieszych uczucie niepokoju, a nawet strachu. Kryteria komfortu, jakim powinny odpowiadać kładki, nie są jednoznacznie sprecyzowane. Pewne propozycje przedstawiono m.in. w pracach [3-5]. Niektóre cechy dynamiczne konstrukcji są trudne do ustalenia na etapie projektowania i dlatego konieczne jest wykonywanie badań doświadczalnych. Przykłady takich badań przedstawiono m.in. w pracy [6-9] i w niniejszym artykule.

2. Opis obiektu

Badana kładka została zbudowana w 1997 roku, łączy bulwary nad rz. Wiśłok przy ul. Hetmańskiej z ul. Podwisłocze i osiedlem „Nowe Miasto” w Rzeszowie. W konstrukcji kładki można wyróżnić trzy zasadnicze części: schody wraz z pochylnią lewobrzeżną, przęsło nurtowe oraz pochylnię prawobrzeżną (rys. 1., 2.). Przęsło nurtowe to konstrukcja stalowa, podwieszona, o rozpiętości 64 m.



Rys. 1. Rysunek ogólny kładki



Rys. 2. Widok kładki od strony bulwarów przy ul. Hetmańskiej

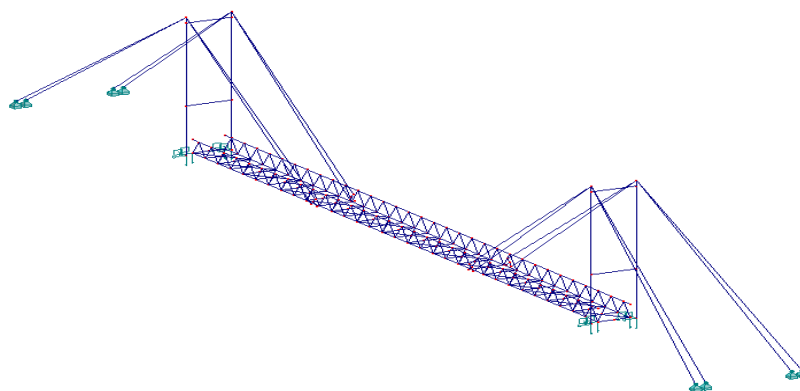
Konstrukcję przęsła stanowią dwa dźwigary kratownicowe, podwieszone za pomocą ośmiu lin o średnicy 32 mm. Wysokość konstrukcyjna kratownicy wynosi 1,73 m. Pas górny został wykonany z dwóch ceowników 160, pas dolny z ceownika 200, natomiast krzyżulce z ceowników 120. Poprzecznice to dwuteowniki 200 umieszczone w rozstawie 2 m. Stężenia wiatrowe wykonano z kątowników 60 x 60 x 6 mm. Do pasa dolnego zamocowano zakotwienia lin nośnych, dzieląc przęsło nurtowe na trzy części: 20 + 24 + 20 m. Szerokość

użytkowa pomostu wynosi 2,5 m, natomiast szerokość całkowita 3,08 m. Nawierzchnia została wykonana z bali drewnianych. Konstrukcję pylonów stanowią dwie pary słupów stalowych, wysokości 16 m, w rozstawie osiowym 4 m, o przekroju prostokątnym 320 x 420 mm, wykonanych z blach grubości 10 i 14 mm. Słupy każdego z pylonów stężono dwoma ryglami. Na kładce znajdują się dwie latarnie oświetlające obiekt. Słupy latarni są przymocowane do dźwigara kratownicowego do strony dołu rzeki. Kładka jest w dobrym stanie technicznym, prawidłowo utrzymana.

3. Analiza numeryczna

Kładkę zamodelowano elementami prętowymi w przestrzeni trójwymiarowej (E1-P3). Przeanalizowano trzy modele:

- model M1 – uwzględniający główne elementy konstrukcji stalowej, tj. dźwigary, poprzecznice, stężenia wiatrowe, wanty i pylony (rys. 3.),
- model M2 – uwzględniający główne elementy konstrukcji stalowej oraz masę i sztywność balustrad,
- model M3 – uwzględniający główne elementy konstrukcji stalowej, masę i sztywność balustrad oraz masę pomostu.



Rys. 3. Model obliczeniowy kładki

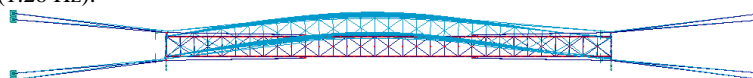
Obliczenia wykonano za pomocą programu Robot Millennium. Obliczono częstotliwości i formy drgań własnych konstrukcji. W tabeli 1. zestawiono wyniki obliczeń.

Formy drgań przedstawiono na rys. 4. Formy z dominującym poziomym kierunkiem drgań przedstawiono w widoku z góry, natomiast z dominującym pionowym kierunkiem w widoku z boku.

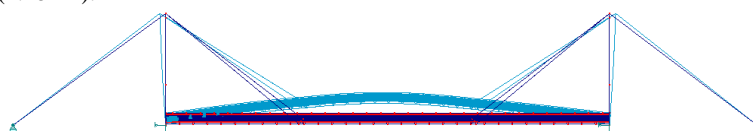
Tabela 1. Formy drgań i odpowiadające im częstotliwości

Numer formy drgań własnych	Dominujący kierunek drgań	Oznaczenie formy drgań	Obliczone częstotliwości drgań własnych [Hz]		
			model M1	model M2	model M3
1	poziomy	1GH	1,47	1,43	1,26
2	pionowy	1GV	2,77	2,68	2,28
3	poziomy	2GH	3,14	3,08	2,87
4	pionowy	2GV	4,78	4,68	4,08
5	poziomy	3GH	5,49	5,33	4,90
6	pionowy	3GV	8,42	8,18	6,85

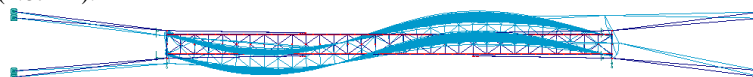
Forma 1 (1.26 Hz):



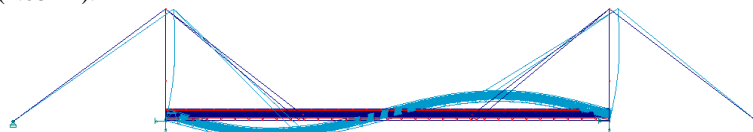
Forma 2 (2.28 Hz):



Forma 3 (2.87 Hz):



Forma 4 (4.08 Hz):



Forma 5 (4.09 Hz):



Forma 6 (6.85 Hz):

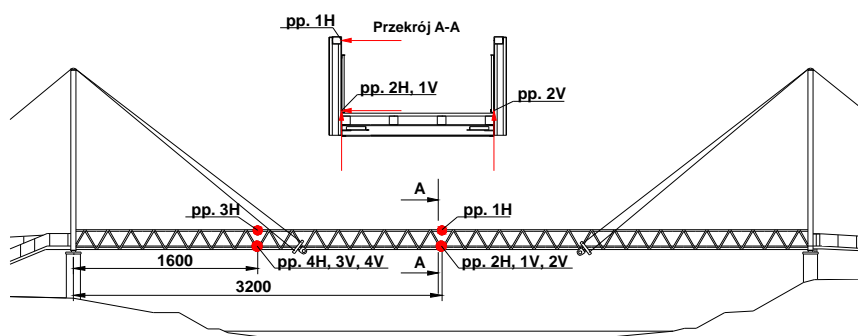


Rys. 4. Formy drgań własnych i odpowiadające im częstotliwości obliczone dla modelu M3

Rodzaj przyjętego modelu obliczeniowego wyraźnie wpływa na wartości obliczonych częstotliwości drgań własnych. Różnice wartości sięgają nawet kilkunastu procent. Świadczy to o tym, że na parametry modalne tego typu konstrukcji wpływa wiele czynników, w tym także sztywność balustrad, masa pomostu – nawet lekkiego pomostu drewnianego.

4. Aparatura badawcza i punkty pomiaru drgań

Do badań użyto zestawu pomiarowego, składającego się z komputera przenośnego i systemu NI CompactDAQ z dwoma czterokanałowymi modułami NI 9234 firmy National Instruments. System umożliwiał rejestrację sygnałów z ośmiu czujników przyspieszeń (akcelerometrów). Czujniki zostały umieszczone na konstrukcji kładki, w miejscach przewidywanych największych amplitud przyspieszeń, tj. w połowie i w $\frac{1}{4}$ rozpiętości przęsła. Rozmieszczenie czujników oraz kierunek mierzonych przez nie przyspieszeń przedstawiono na rys. 5. Zarówno w połowie, jak i w $\frac{1}{4}$ rozpiętości przęsła umieszczono po dwa czujniki przeznaczone do pomiaru drgań pionowych (po obu stronach kładki) oraz dwa do pomiaru drgań poziomych (jeden na pasie dolnym, drugi na pasie górnym kratownicy).



Rys. 5. Rozmieszczenie punktów pomiarowych

Do rejestracji i analizy sygnałów pomiarowych użyto programu Sound and Vibration Assistant firmy National Instruments, działającego w środowisku LabVIEW. Badania wykonano w czerwcu 2008 r.

5. Program badań dynamicznych

Program badań obejmował obciążenia natury codziennej, jak chodzenie i bieganie, oraz obciążenia typu wandalistycznego, tj. przemarsz i bieg grupy

osób krokiem zsynchronizowanym, synchroniczne wychylenia ciała oraz synchroniczne podskoki w miejscach spodziewanych maksymalnych amplitud przemieszczeń. Schematy obciążenia zestawiono w tab. 2. Na rysunku 6. przedstawiono obciążenia kładki wg schematu C1+1 i 1CS15.

Tabela 2. Zestawienie schematów obciążenia kładki

Nazwa schematu			Rodzaj wymuszenia	Tempo [Hz]
1 osoba	6 osób	15 osób		
C1+1	–	–	przejście jednej osoby z jednoczesnym odbiorem drgań przez drugą osobę stojącą w środku rozpiętości	dowolne
C1	C6	C15	przejście niesynchroniczne	
–	1CS6	1CS15	przejście synchroniczne	1
–	1.5CS6	1.5CS15		1.5
–	2CS6	2CS15		2
B1+1	–	–	bieg jednej osoby z jednoczesnym odbiorem drgań przez drugą osobę stojącą w środku rozpiętości	dowolne
B1	B6	B15	bieg niesynchroniczny	
–	2.5BS6	2.5BS15	bieg synchroniczny	2.5
–	3BS6	3BS15		3
S1+1	–	–	sprint jednej osoby z jednoczesnym odbiorem drgań przez drugą osobę stojącą w środku rozpiętości	dowolne
S1	S6	S15	sprint	
–	1WW	–	synchroniczne wychylenia ciała na boki w środku rozpiętości	1.26
–	2WP	–	synchroniczne podskoki w środku rozpiętości	2.28
–	3WW	–	synchroniczne wychylenia ciała na boki w ¼ rozpiętości	2.87
–	7WP	–	synchroniczne podskoki w ¼ rozpiętości	4.08
3WP1	–	–	synchroniczne podskoki w ¼ rozpiętości z jednej strony pomostu	2.87



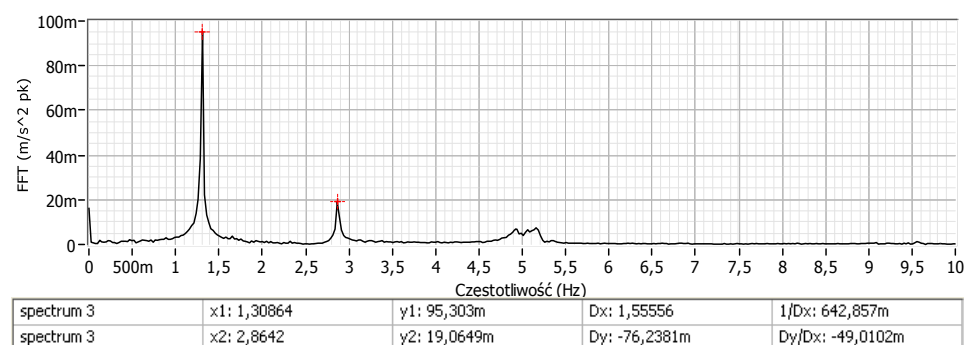
Rys. 6. Przykładowe schematy obciążenia: a) bieg jednej osoby z równoczesnym odbiorem drgań przez osobę stojącą na kładce, b) przejście grupy 15 osób krokiem synchronicznym

Aby zsynchronizować krok osób uczestniczących w badaniu, wykorzystano program komputerowy imitujący metronom. Dźwięki generowane z określoną częstotliwością wzmacniano megafonem tak, aby były wyraźnie słyszane przez osoby biorące udział w badaniach.

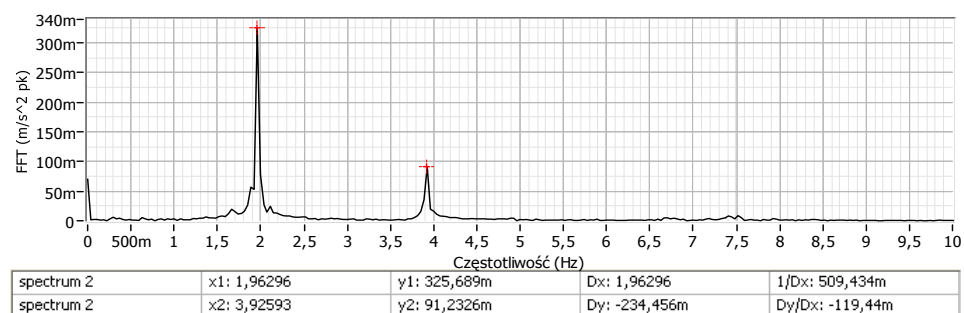
6. Wyniki badań dynamicznych

Zarejestrowane sygnały poddano analizie FFT. Przykładowe wyniki analizy przedstawiono na rysunkach od 7. do 10.

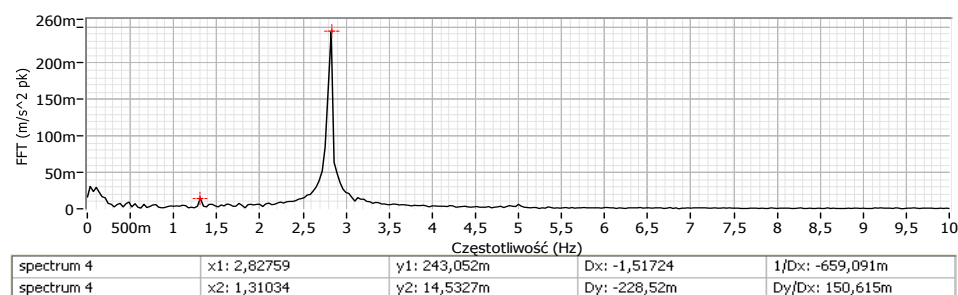
Oprócz częstotliwości drgań własnych wyznaczono również logarytmiczny dekrement tłumienia. W tabeli 3. przedstawiono wyniki badań i porównano je z wynikami obliczeń. Do porównania wybrano wartości otrzymane dla modelu M3 jako najbardziej odpowiadające rzeczywistej konstrukcji. Zidentyfikowane doświadczalnie częstotliwości drgań własnych są w większości przypadków niższe od obliczonych, ale porównywalne, co dobrze świadczy o przyjętym mo-



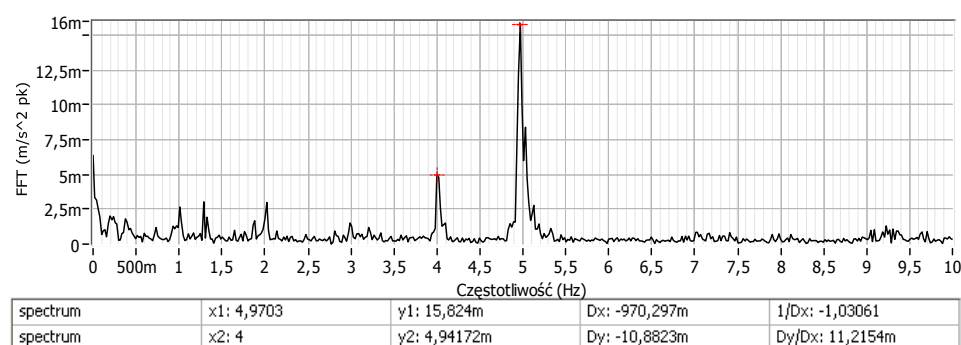
Rys. 7. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa drgań poziomych w pp. 2H, określona w czasie biegu grupy 15 osób z częstotliwością kroku 2,5 Hz



Rys. 8. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa drgań pionowych w pp. 1V, określona w czasie przejścia grupy 6 osób z częstotliwością kroku 2 Hz



Rys. 9. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa drgań poziomych w pp. 4H, określona w czasie biegu swobodnego grupy 15 osób



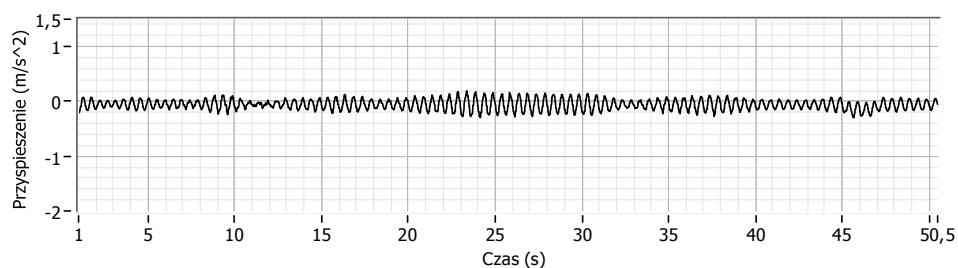
Rys. 10. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa drgań w pp. 2H, określona w czasie swobodnego przejścia jednej osoby

delu konstrukcji. W tabeli 3. przedstawiono również wartości logarytmicznego dekrementu tłumienia.

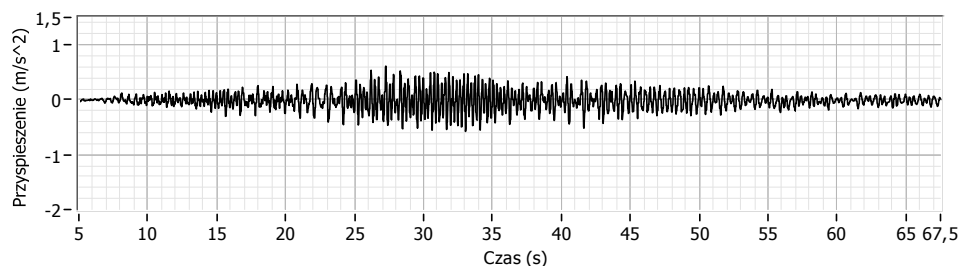
Tabela 3. Zidentyfikowane częstotliwości drgań własnych oraz odpowiadający im, zmierzony logarytmiczny dekrement tłumienia

Numer formy drgań własnych	Dominujący kierunek drgań	Częstotliwość drgań własnych [Hz]		Zmierzony logarytmiczny dekrement tłumienia
		obliczone (model M3)	pomierzone	
1	poziomy	1,26	1,31	0,063
2	pionowy	2,28	1,96	0,056
3	poziomy	2,87	2,83	0,058
4	pionowy	4,08	3,92	0,065
5	poziomy	4,90	4,97	0,053

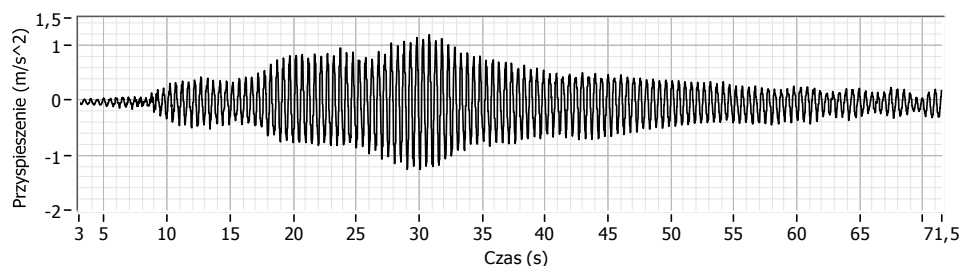
Oprócz analizy częstotliwościowej przeprowadzono również analizę amplitudową drgań. Na rysunkach od 11. do 18. przedstawiono przykładowe charakterystyki drgań zarejestrowane podczas badań kładki.



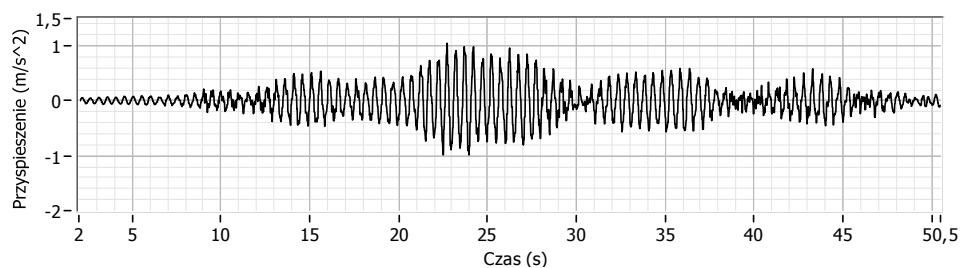
Rys. 11. Amplitudy przyspieszeń zarejestrowane w pp. 1V, podczas przejścia jednej osoby (schemat obciążenia: C1)



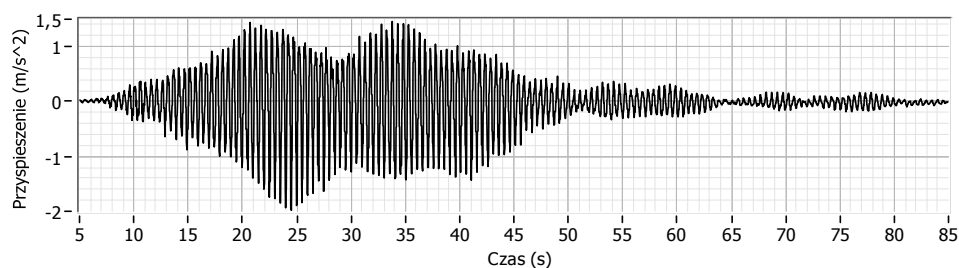
Rys. 12. Amplitudy przyspieszeń zarejestrowane w pp. 3V, podczas niesynchronicznego przejścia grupy 6 osób (schemat obciążenia: C6)



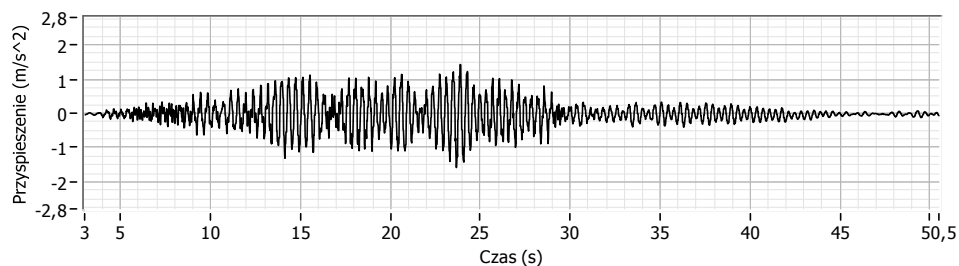
Rys. 13. Amplitudy przyspieszeń zarejestrowane w pp. 2V, podczas synchronicznego przejścia grupy 6 osób z częstotliwością kroku 2 Hz (schemat obciążenia: 2CS6)



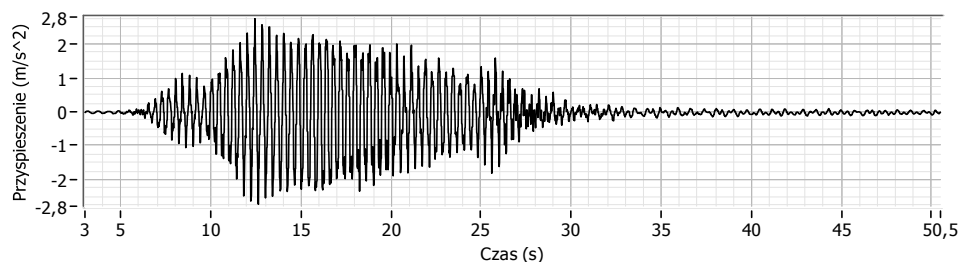
Rys. 14. Amplitudy przyspieszeń zarejestrowane w pp. 1V, podczas niesynchronicznego przejścia grupy 15 osób (schemat obciążenia: C15)



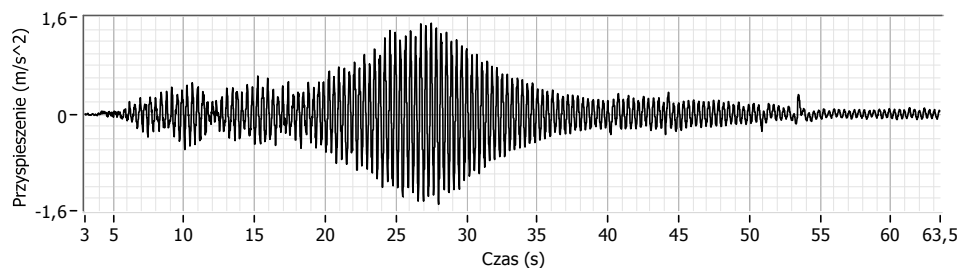
Rys. 15. Amplitudy przyspieszeń zarejestrowane w pp. 2V, podczas przejścia synchronicznego grupy 15 osób z częstotliwością kroku 2 Hz (schemat obciążenia: 2CS15)



Rys. 16. Amplitudy przyspieszeń zarejestrowane w pp. 1V, podczas biegu grupy 15 osób (schemat obciążenia: B15)



Rys. 17. Amplitudy przyspieszeń zarejestrowane w pp. 1V, podczas biegu synchronicznego grupy 15 osób z częstotliwością kroku 2 Hz (schemat obciążenia: 2,5BS15)



Rys. 18. Amplitudy przyspieszeń drgań poziomych zarejestrowane w pp. 4H, podczas biegu swobodnego grupy 15 osób (schemat obciążenia: B15)

7. Ocena komfortu użytkowania

W niniejszej pracy odniesiono się od kryteriów komfortu podanych w Eurokodzie 5, część 2 [10] oraz do warunków zaproponowanych przez A. Flagę i M. Pańtaka w pracach [3-5]. Norma [10] dotyczy, co prawda, konstrukcji z drewna, ale podane tam kryteria komfortu są stosowane przez wielu autorów do oceny również innych konstrukcji – co potwierdza chociażby praca [9].

W tabeli 4. podano maksymalne wartości pomierzonych przyspieszeń. Na szarym tle przedstawiono wartości, które nie spełniają kryteriów komfortu podanych w [10]. Warunek komfortu na podstawie [10] uważa się za niespełniony, kiedy przyspieszenia drgań pionowych są większe niż $0,7 \text{ m/s}^2$ i/lub przyspieszenia drgań poziomych pasa dolnego (na wysokości wierzchu pomostu) są większe od wartości $0,2 \text{ m/s}^2$.

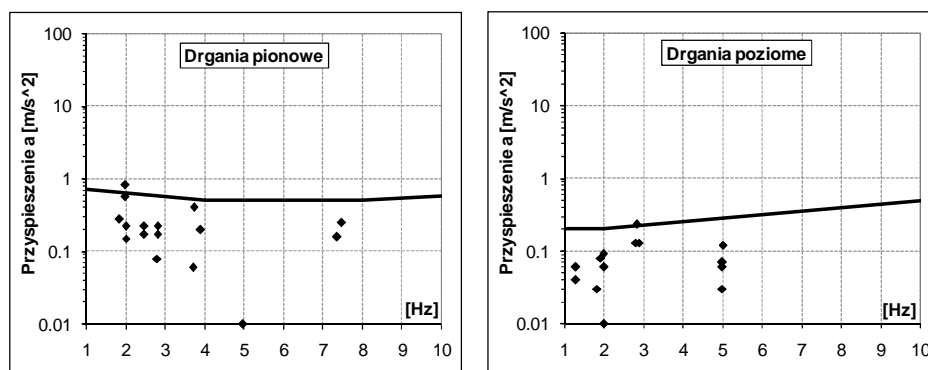
Tabela 4. Maksymalne wartości pomierzonych przyspieszeń: V – drgania pionowe, H_{PD} – drgania poziome pasa dolnego, H_{PG} – drgania poziome pasa górnego

Schemat	Typ wymuszenia	$a_{\max} [\text{m/s}^2]$			Warunek komfortu wg [10]
		V	H_{PD}	H_{PG}	
C1	przejście niesynchroniczne	0,26	0,11	0,17	spełniony
C6		0,67	0,29	0,50	niespełniony
C15		1,05	0,26	0,55	niespełniony
1CS6	przejście synchroniczne	0,33	0,17	0,23	-
1CS15		0,45	0,15	0,28	-
1.5CS6		0,42	0,15	0,28	-
1.5CS15		0,60	0,20	0,48	-
2CS6		1,69	0,19	0,55	-
2CS15		1,98	0,27	0,67	-
B1	bieg niesynchroniczny	0,53	0,15	0,30	-
B6		1,38	0,87	1,35	-
B15		1,59	1,51	3,20	-
2.5BS6	bieg synchroniczny	1,24	0,48	1,03	-
2.5BS15		2,78	0,97	2,22	-
3BS6		1,22	0,86	1,48	-
3BS15		2,19	1,44	2,29	-
S1	sprint	0,90	0,09	0,30	-
S6		3,07	0,47	0,99	-
S15		5,93	1,05	2,58	-
1WW	wychylenia w środku rozpiętości	0,93	2,03	2,80	niespełniony
2WP	podskoki w środku rozpiętości	2,40	0,46	1,35	
3WW	wychylenia w ¼ rozpiętości	0,80	1,00	1,38	
7WP	podskoki w ¼ rozpiętości	2,48	0,47	1,99	
3WP1	podskoki w ¼ rozpiętości z jednej strony	1,30	0,87	1,38	

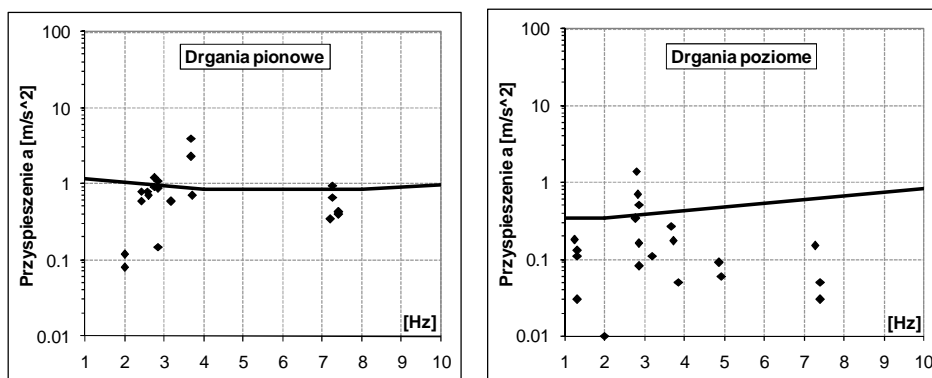
Spośród analizowanych schematów obciążeń użytkowych kładka spełnia normowe warunki komfortu użytkowania wg [10] jedynie podczas niesynchronicznego przejścia jednej osoby. W pozostałych ocenianych przypadkach kryteria zawarte w [10] nie zostały spełnione.

We wszystkich przypadkach przyspieszenia drgań poziomych pasa górnego są zdecydowanie większe od przyspieszeń drgań poziomych zarejestrowanych na wysokości pomostu. Wiąże się to z tym, że kratownice nie są połączone ze sobą w poziomie pasów górnych (pomost kładki znajduje się na poziomie pasa dolnego).

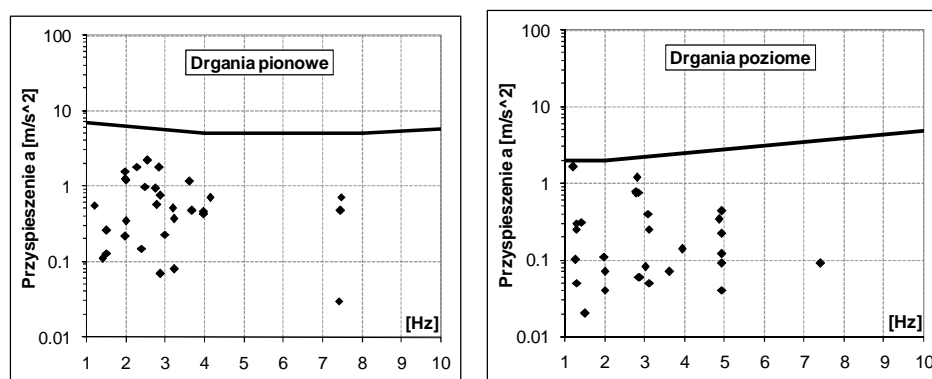
Inne kryteria komfortu użytkowania kładek dla pieszych podano w pracach A. Flagi i M. Pańtaka [3-5]. Dopuszczalne wartości przyspieszeń przedstawiono w postaci krzywych komfortu. Aby porównać zapisane podczas badań przebiegi czasowe przyspieszeń z podanymi krzywymi komfortu, zastosowano odpowiednie filtry. Zgodnie z pracą [3] krzywe komfortu należy przemnożyć przez wartość zależną od prawdopodobieństwa występowania wybranych schematów wymuszeń drgań. Do drgań częstych (natury codziennej) zaliczono drgania wywołane chodzeniem pieszych (schematy C1, C6 i C15) oraz biegiem jednego pieszego (schemat B1). W przypadku tego typu drgań mnożnik krzywych bazowych wynosi 1. W przypadku drgań natury rzadkiej mnożnik wynosi 1.7 i zaliczono do nich drgania wywołane biegiem większej liczby osób (schematy B6 i B15) oraz drgania wywołane sprintem użytkowników (schematy S1, S6 i S15). Wszystkie schematy związane z synchronizacją kroku pieszych oraz polegające na synchronicznym wychylaniu ciała lub synchronicznych podskokach uznano za wymuszenia typu wandalistycznego. W przypadku tego typu obciążeń mnożnik krzywych bazowych wynosi 10. W przypadku wymuszeń natury wandalistycznej kryteria nie odnoszą się już do komfortu użytkowania, ale do bezpieczeństwa użytkowników kładki. Na rysunkach od 19. do 21. zestawiono wyniki badań i porównano je z kryteriami komfortu użytkowania podanymi w pracy [3]. Kryteria komfortu oznaczono na rysunkach liniami ciągłymi.



Rys. 19. Porównanie drgań natury codziennej z kryteriami komfortu



Rys. 20. Porównanie drgań natury rzadkiej z kryteriami komfortu



Rys. 21. Porównanie drgań wandalistycznych z kryteriami komfortu

Spśród obciążeń natury codziennej (częstych) podane kryteria komfortu, zaczerpnięte z pracy [3], nie zostały spełnione w przypadku drgań poziomych, podczas przejścia grupy 6 osób (schemat C6, punkt pomiarowy H4), natomiast w przypadku drgań pionowych – podczas przejścia grupy 15 osób (schemat C15, punkt pomiarowy V1). W przypadku wymuszeń drgań natury rzadkiej pomierzone drgania pionowe spełniały kryteria komfortu jedynie podczas sprintu jednej osoby (schemat S1), natomiast w przypadku drgań poziomych kryteria te nie zostały spełnione podczas biegu grupy 6 i 15 osób (schematy B6 i B15). W żadnym przypadku wymuszeń natury wandalistycznej kryteria podane przez autorów pracy [3] nie zostały przekroczone.

8. Wnioski z badań

Obliczone i zidentyfikowane doświadczalnie częstotliwości podstawowych drgań własnych są zbliżone, co świadczy zarówno o poprawnym przyjęciu modelu obliczeniowego, jak i o poprawnie wykonanych pomiarach. Należy zaznaczyć, że model obliczeniowy uwzględnia nie tylko główne elementy konstrukcji, ale również masę i sztywność balustrad oraz masę pomostu.

Kładka ma wiele niekorzystnych cech dynamicznych. Pierwsza częstotliwość drgań własnych pionowych jest w środku przedziału typowej częstotliwości kroku pieszych, co powoduje wzbudzenie tej częstotliwości podczas normalnego użytkowania. Z kolei pierwsza częstotliwość drgań poziomych (1,31 Hz) jest bliska $\frac{1}{2}$ częstotliwości biegu, tj. 2,5 Hz (trucht), i jest bliska częstotliwości równej dwóm krokom (1,25 Hz).

Podczas przejścia grupy 6-15 osób wzbudzana jest pierwsza postać drgań giętych pionowych, a przyspieszenia tych drgań w środku rozpiętości pomostu dochodzą do $1,05 \text{ m/s}^2$. Szczególną uwagę należy zwrócić na sprint większej liczby osób (6 do 15), ponieważ podczas tego typu obciążenia zostaje wzbudzona druga postać drgań giętych pionowych, a przyspieszenia tych drgań sięgają $3,07 \text{ m/s}^2$ (sprint 6 osób), a nawet $5,93 \text{ m/s}^2$ (sprint 15 osób). Należy jednak zaznaczyć, że jest mało prawdopodobne, aby tego typu obciążenie pojawiło się na kładce podczas codziennego użytkowania, dlatego taki schemat obciążenia należy uznać za wyjątkowy.

Podczas badań były realizowane schematy obciążenia polegające na przejściu, przebiegnięciu oraz przebiegnięciu sprintem przez kładkę jednej osoby z równoczesnym odbiorem drgań przez drugą osobę stojącą w środku rozpiętości przęsła. Dzięki obecności osoby stojącej na kładce wzrósł poziom tłumienia, a przyspieszenia drgań były niższe. Osoba stojąca odczuwała drgania jedynie podczas sprintu drugiego użytkownika.

Spośród schematów obciążenia natury wandalistycznej, polegających na synchronicznym przejściu lub przebiegnięciu grupy pieszych, osoby biorące udział w badaniu odczuwały jedynie drgania poziome podczas synchronicznego biegu z częstotliwością kroku 2,5 Hz.

W czasie obciążeń wandalistycznych normowe kryteria komfortu użytkowania [10] nie zostały zachowane. Świadczy to o tym, że kładka jest podatna na wymuszenia typu wandalistycznego. Należy zaznaczyć, że podczas badań wzbudzono drgania w granicach rozsądku – nie można jednak przewidzieć, jakie drgania może wywołać grupa osób nieodpowiedzialnych. Można natomiast stwierdzić, że grupa kilku osób może z łatwością wywołać drgania o charakterze rezonansowym, groźne dla konstrukcji.

Oprócz oceny komfortu opartej na analizie literatury kładkę poddano ocenie użytkowników. Przeprowadzono ankietę wśród 100 osób, w dzień powszedni, w godzinach od 14 do 15. Na kładce nie znajdowało się wtedy więcej niż 6 osób jednocześnie. Na pytanie: Czy podczas przejścia przez kładkę odczuwalne są

jakikolwiek drgania? – 30 osób oświadczyło, że nie odczuło żadnych drgań. Z pozostałych 70 osób 3 stwierdziły, że drgania są niepokojące, a 67 stwierdziło, że drgania są odczuwalne, ale nie wzbudzają niepokoju.

Tak więc można uznać, że wyniki ankiety potwierdziły wnioski z teoretycznej analizy komfortu, a także słuszność przyjętych w literaturze kryteriów.

Literatura

1. Biliszczyk J., Hawryszków P., Szczepaniak K., Stępin P.: *O działaniach tłumów na kładki dla pieszych*. Inżynieria i Budownictwo, nr 8/2003.
2. Żółtowski K.: *Pieszy na kładkach. Obciążenia i odpowiedź konstrukcji*. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2007.
3. Pańtak M., Flaga A.: *Weryfikacja doświadczenia własnych kryteriów komfortu wibracyjnego użytkowników kładek dla pieszych*. Seminarium „Kładki dla pieszych. Architektura, projektowanie, realizacja, badania”, Wrocław 2007.
4. Pańtak M., Flaga A.: *Krzywe komfortu wibracyjnego w odniesieniu do mostów dla pieszych wg normy ISO/CD 10137:2005 i propozycje własne*. Inżynieria i Budownictwo, nr 10/2006.
5. Flaga A., Pańtak M.: *Kryteria komfortu w projektowaniu kładek dla pieszych*. Inżynieria i Budownictwo, nr 5/2004.
6. Salamak M.: *Wybrane problemy badań kładek dla pieszych*. II Sympozjum „Badania i diagnostyka mostów”, Opole 2003.
7. Hawryszków P.: *Badania dynamiczne kładek dla pieszych w Sromowcach Niżnych*. Inżynieria i Budownictwo, nr 1–2/2008.
8. Salamak M., Łaziński P.: *Doświadczenia identyfikacji właściwości dynamicznych trzech różnych konstrukcji mostów dla pieszych*. Seminarium „Kładki dla pieszych. Architektura, projektowanie, realizacja, badania”, Wrocław 2007.
9. Machelski Cz., Barcik W., Hawryszków P., Tadla J., Biliszczyk J.: *Wrażliwość podwieszonych kładek dla pieszych na wzbudzenia dynamiczne*. Inżynieria i Budownictwo, nr 10/2005.
10. ENV 1995-2:1996 Eurocode 5, part 2. Design of timber structures – Bridges.