

## Analiza numeryczna wpływu ruchu pojazdu w strefie brzegowej na działanie mostu pływającego

Wiesław Krasoń<sup>1</sup>, Damian Kulikowski

<sup>1</sup>Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna  
email: wieslaw.krason@wat.edu.pl

**STRESZCZENIE:** W pracy zaprezentowano rezultaty analizy numerycznej oddziaływania obciążenia ruchomego w strefie brzegowej na most pływający. Przedmiotem analiz jest odcinek prototypowego mostu kasetowego typu wstęga składający się z 10 jednakowych segmentów pływających o regulowanej nośności. W strefach brzegowych modelowanej przeprawy zastosowano rampy najazdowe o niestandardowej konfiguracji i długości. Celem pracy jest wyznaczenie deformacji i porównanie przemieszczeń pionowych środka ciężkości kaset pływających w strefie brzegowej i w środkowej części rozważanego odcinka wstęgi mostu pod wpływem działania obciążenia ruchomego w postaci uproszczonego modelu pojazdu poruszającego się ze stałą prędkością w strefie brzegowej mostu. W pracy scharakteryzowano badany obiekt, wyszczególniono podstawowe parametry obu modeli (mostu oraz ruchomego pojazdu), zilustrowano graficznie a także opisano zakres wykonywanych badań. Analizy numeryczne wykonano metodą multibody z zastosowaniem oprogramowania MSC.Adams. Wyznaczono zanurzenia własne badanego mostu (bez obciążenia ruchomego) i przemieszczenia pionowe środków ciężkości kaset w wybranych wariantach analizy z ruchomym obciążeniem, w których zmieniano masy przewożonego pojazdu. Zaprezentowano wybrane wykresy przemieszczeń pionowych wstęgi i porównano otrzymane wyniki.

**SŁOWA KLUCZOWE:** prototypowy most pływający, niestandardowe rampy brzegowe, model 3D, metoda multibody, analiza numeryczna

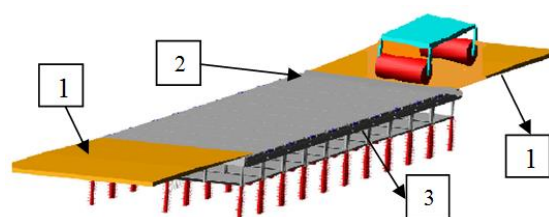
### 1. Wstęp

Modułowe obiekty pływające w postaci promów lub mostów typu wstęga służą do pokonywania przeszkód wodnych. Podczas przeprawy, szczególnie w czasie wjazdu na most z brzegu i przejazdu pojazdów obiekty takie narażone są na oddziaływanie złożonych obciążeń zmiennych w czasie. Przedmiotem analiz numerycznych zaprezentowanych w pracy jest kasetowy most pływający [1] z rampami brzegowymi. Szczególnymi elementami takiej konstrukcji są pontony brzegowe lub rampy, które odpowiadają za odpowiednie połączenie z brzegiem zespołu powtarzalnych modułów kasetowych wstęgi pływającej. Duży wpływ na właściwości eksploatacyjne i wytrzymałość wstęgi pływającej mają poszczególne kasy wraz z systemem złączy zapewniające odpowiednie połączenia ruchome sąsiadujących modułów wstęgi z uwzględnieniem luzów montażowych [1]. Ze względu na zastosowanie ruchomych połączeń i to iż podzespoły mostu podlegają znacznym obciążeniom w czasie przejazdu pojazdu, i każdy z nich ma wpływ na działanie całej konstrukcji, wykonano badania symulacyjne fragmentu mostu pływającego typu wstęga z uwzględnieniem obciążenia ruchomego. Analizowano wpływ różnych wariantów przejazdu uproszczonego modelu pojazdu bez zawieszenia na zanurzenia mostu ze zwróceniem szczególnej uwagi na deformacje wstęgi w obszarze współpracy skrajnej kasy wstęgi z modułem brzegowym. W tym celu wykorzystano program MSC.Adams do modelowania i symulacji układów wielocłonowych (multibody) [2].

### 2. Opis badanego obiektu i modeli

Spośród znanych rozwiązań konstrukcyjnych mostów pływających najpowszechniejsze zastosowanie znajduje modułowy układ mostu typu pojedyncza wstęga. Most tego typu składa się w części rzecznej z jednakowych segmentów pływających połączonych ze sobą zespołem zamków mechanicznych [1]. Generalnie wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje modułów mostu: rzeczne i brzegowe

lub rampy najazdowe. W pracy zastosowano model pojedynczej wstęgi prototypowego mostu kasetowego o regulowanej nośności [1, 3, 4]. Pojedyncza kaseca zawiera wewnątrz wysokowytrzymałą elastyczną powłokę tzw. ponton, która po napełnieniu sprężonym powietrzem umożliwia uzyskanie wymaganej siły wyporu. W modelu multibody mostu odwzorowano układ fragmentu wstęgi pojedynczej zestawionej z dziesięciu identycznych kaset w postaci brył sztywnych o jednakowej wyporności w części rzecznej i dwóch ramp brzegowych zamocowanych przegubowo na brzegach i opartych na skrajnych pontonach pływających wstęgi jak na rys. 1. Oddziaływanie wyporu wody zostało zastąpione zespołem elementów sprężysto-tłumiących. Dobór charakterystyk elementów odwzorowujących oddziaływanie wody na segmenty wstęgi opisano szczegółowo w pracach [3-5].



Rys. 1. Widok modelu sztywnego 3D wstęgi mostu kasetowego: 1-rampa wjazdowa, 2-segment I, 3-segment V

W symulacji multibody odwzorowano symetryczny przejazd modelu pojazdu ruchomego z rampy brzegowej na model wstęgi. W tym celu zbudowano uproszczony model pojazdu w postaci prostopadłościennego bryły kadłuba zawieszono go nad dwoma sztywnymi walcami o takiej samej masie i zadanej prędkości obrotowej. Model pojazdu z walcami może zostać użyty w przypadku, gdy analizowany przejazd jest symetryczny tj. odbywa się idealnie wzdłuż osi symetrii podłużnej wstęgi. Zastosowanie takiego wariantu obciążenia pozwala na równomierne rozłożenie obciążenia wzdłuż osi poprzecznej wstęgi (nie uwzględnia się obciążeń skrętnych

wynikających z mimośrodu położenia obciążenia) w czasie przejazdu oraz wpływa na skrócenie czasu obliczeń.

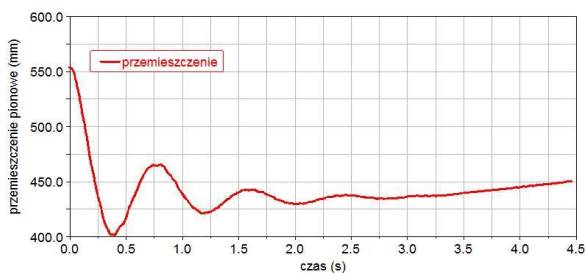
Tabela 1. Podstawowe parametry modeli numerycznych

Prototypowy most pływający typu wstęga		
Parametr	Wartość	Jednostka
Długość rampy	9800	mm
Szerokość rampy	6000	mm
Masa rampy	3000	kg
Długość segmentu-kasety	2000	mm
Szerokość segmentu	6000	mm
Masa segmentu	2000	kg
Obciążenie ruchome		
Rozstaw wałców	5000	mm
Długość walca	2500	mm
Średnica walca	1000	mm
Masa pojazdu (I wariant)	3500	kg
Masa pojazdu (II wariant)	10000	kg
Prędkość pojazdu	1500	mm/s

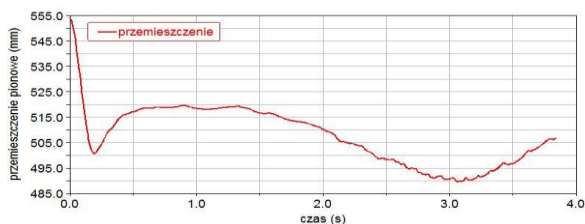
### 3. Wyniki analizy numerycznej

Model 3D wstęgi wraz z obciążeniem ruchomym zastosowano w analizach multibody. Wykonano trzy warianty badań numerycznych. W wariantcie I całkowita masa pojazdu wynosi 3.5 tony, w wariantcie II - 10 ton, a w wariantcie III uwzględniono tylko ciężar własny mostu wraz z rampami brzegowymi (około 26 ton). W celu wykonania analizy porównawczej wyników i ustalenia wpływu ruchu pojazdu w strefie brzegowej zmierzono przemieszczenia pionowe środka ciężkości dwóch segmentów pływających wstęgi - segmenty I i V na rys. 1. Maksymalne zanurzenia segmentu I i V otrzymane w analizach zestawiono w Tabeli 2.

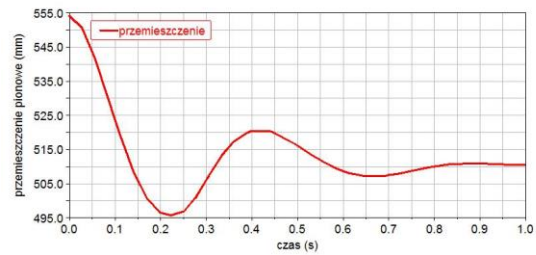
Na rys. 2 i 3 przedstawiono wykresy przemieszczeń pionowych otrzymane w wariantcie I analizy w segmencie I i V wstęgi, a na rys. 4 wykres przemieszczenia pionowego w segmencie V mostu pływającego z obciążeniem własnym (bez obciążenia ruchomego – wariant III).



Rys. 2. Wykres przemieszczenia pionowego środka ciężkości segmentu nr I mostu kasetowego w funkcji czasu działania obciążenia ruchomego o masie 3.5 tony – wariant I



Rys. 3. Wykres przemieszczenia pionowego środka ciężkości segmentu nr V mostu kasetowego w funkcji czasu działania obciążenia ruchomego o masie 3.5 tony – wariant I



Rys. 4. Wykres przemieszczenia pionowego środka segmentu nr V mostu kasetowego w funkcji czasu działania obciążenia własnego wstęgi (bez pojazdu) - wariant III

Tabela 2. Zestawienie wyników analizy numerycznej

Wariant i miejsce pomiaru	Maksymalna wartość zanurzenia [mm]
I - 3,5 tony, segment I	159 (~3.5*Z <sub>III</sub> )
I - 3,5 tony, segment V	65
II - 10 ton, segment I	278 (~6.2*Z <sub>III</sub> )
II - 10 ton, segment V	132
III-ciężar własny, segment V	62 (Z <sub>III</sub> =45)

### 4. Podsumowanie i wnioski

Analiza numeryczna wstęgowych mostów pływających jest procesem złożonym nawet przy zastosowaniu modeli uproszczonych [3]. W prezentowanych badaniach użyto wieloczołnowe modele 3D fragmentu wstęgi o długości około 40 m, w których zdefiniowano zjawisko kontaktu, efekty tarcia i luzy wstępne w złączach pomiędzy kasetami oraz zastosowano zastępczy sprężysto-tłumiący model oddziaływania wody na wstęgę mostu kasetowego.

W wyniku wykonanych symulacji ustalono że:

- maksymalne zanurzenie Z<sub>III</sub>, określone pod wpływem obciążenia ciężarem własnym wstęgi, odpowiada przemieszczeniu maksymalnemu mostu zarejestrowanemu podczas testu poligonowego [4],
- zanurzenia segmentu I (skraj wstęgi-rys. 1) podczas bezpośredniego najazdu modelu obciążenia ruchomego w wariantcie I i II są odpowiednio 3.5 i 6.2 razy większe od ustabilizowanego - zmierzonego po t<sub>s</sub> zanurzenia własnego Z<sub>III</sub> w środku wstęgi. Maksymalne zanurzenia segmentu I w wariantcie I i II są też większe od zanurzeń maksymalnych segmentu nr V zamocowanego w połowie długości badanego odcinka mostu kasetowego. Decyduje o tym m. in. nietypowa konfiguracja rampy najazdowej, która jest dłuższa o blisko 4 m od standardowej rampy/pontonu brzegowego stosowanego w tego typu konstrukcjach (6 m długości ma ponton brzegowy zestawu PP-64 [3]),
- zwiększenie masy przewożonego pojazdu (wariant I i II) powoduje około dwukrotne zwiększenie maksymalnych wartości zanurzenia dla tych samych punktów pomiarowych (w segmencie I jak i w V-tym).

### Literatura

- [1] European Patent No. 2251255, *A sectional pontoon bridge*, Wojskowa Akademia Techniczna, 2013.
- [2] Frączek J., Wojtyra M., *Kinematyka układów wieloczołnowych: metody obliczeniowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2008.
- [3] Krasoń W., Wieczorek M., *Wytrzymałość mostów pływających w ujęciu komputerowym*, Warszawa, BEL Studio, 2004.
- [4] Chlus K., Derewońko A., Krasoń W., *Experimental and numerical verification of the pontoon bridge section*, Journal of KONES-2013 Powertrain and Transport, Vol. 20, /No. 1, 2013, str. 35-40.
- [5] Kozłowski R., Krasoń W., *Symulacje numeryczne w badaniach przewożonych wodnych na przykładzie prototypowego mostu pontonowego*, Mechanik nr 11, 2013, str. 980-98.