

Mgr inż. Stankiewicz Michał, e-mail: mstankiewicz@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej

Dr inż. Wiesław Krason, e-mail: wkrason@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej

Dr hab. inż. Wiesław Barnat, e-mail: wbarnat@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej

Badania numeryczne odcinka mostu pływającego typu wstęga w modelach 3D

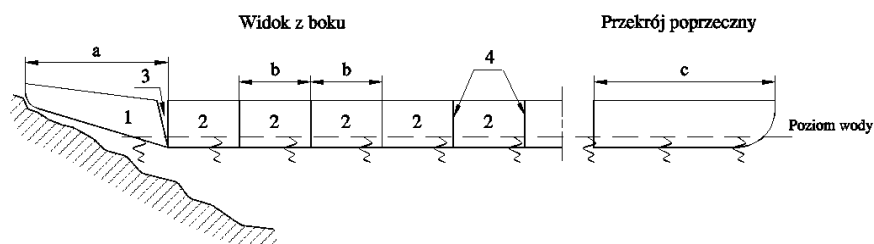
Streszczenie: Celem pracy jest zbudowanie modeli numerycznych mostu pontonowego PP-64, wykonanie obliczeń statycznych w odkształcalnym modelu mostu i dynamicznych w modelu składającym się z brył sztywnych. Analizę statyczną mostu wykonano za pomocą metody elementów skończonych MES w programie MSC PATRAN/NASTRAN. W programie MD ADAMS badano dynamiczny przejazd pojazdu przez most z uwzględnieniem różnych wariantów przejazdu: przejazd symetryczny, przejazd niesymetryczny. Opisano wykonane symulacje i zestawiono wybrane wyniki otrzymane z analiz.

Numerical analysis of floating bridge segment in 3D models

Abstract: The aim of the paper is to build a numerical models of the floating pontoon bridge PP-64, to perform statics calculations on deformable model of the bridge and dynamics calculations on model which is combined with rigid bodies. Static analysis of the bridge was performed with the aid of finite element method (FEM) in MSC PATRAN/NASTRAN. Program MD ADAMS was used to dynamic analysis of passage vehicle through the bridge with the different variant of crossing: asymmetric, symmetric. The performed simulations were described and the selected results of analysis were compared in the paper.

1. WPROWADZENIE

Analizowano numerycznie most pływający zbudowany na bazie parku PP – 64, który jest podstawowym środkiem przeprawowym będącym na wyposażeniu Sił Zbrojnych RP (rys. 1). Zasadniczymi elementami konstrukcyjnymi mostu pontonowego są identyczne pontony pływające. Każdy pojedynczy segment pontonu stanowi gotowy odcinek mostu. Łączone są one ze sobą za pomocą burtowych i rufowych zaczepów sworzniowych we wstęgi o dowolnej konfiguracji. Zastosowanie takiego systemu połączeń pozwala na organizowanie przepraw mostowych i promowych o różnej nośności [1].



Rys. 1 Schemat mostu pontonowego typu wstęga

Wyposażenie Parku Pontonowego PP-64 (rys. 2) daje możliwości na odpowiednie i zależne od warunków zestawienie mostów pontonowych typu: pojedyncza wstęga, wstęgi mieszane i podwójne. Konfiguracje wstęgi dobiera się w zależności od:

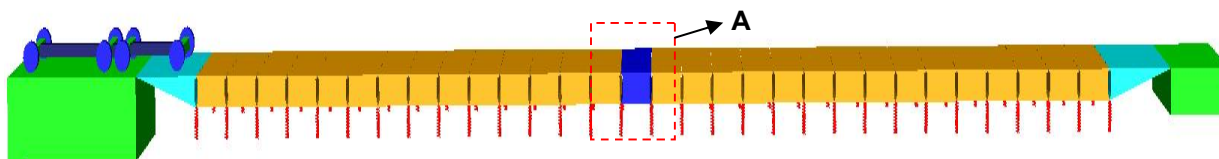
- nośności mostu,
- prędkości prądu wody,
- nośności środka transportowego.



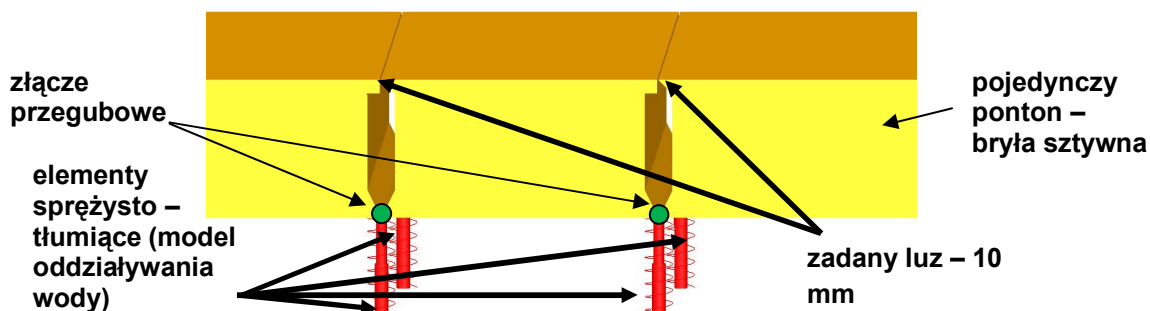
Rys. 2. Widok przepraw sprzętu wojskowego za pomocą mostów pontonowych PP-64

2. MODEL 3D SZTYWNY MOSTU WYKONANY W PROGRAMIE MSC.ADAMS – WYNIKI ANALIZY

Model 3D odcinka mostu pontonowego o długości 68 m wraz z pontonami brzegowymi (30 pontonów + 2 pontony brzegowe) zbudowano w programie MSC Adams (rys. 3). Program ten stosowany jest do analiz kinematycznych oraz dynamicznych z wykorzystaniem modeli trójwymiarowych. Model mostu wykonano z brył sztywnych. Wyporność oraz tłumienie wody odwzorowano w postaci dyskretnej za pomocą elementów sprężysto – tłumiących (rys. 4) o odpowiednio zdefiniowanych parametrach: wartość tłumienia 16000 Ns/m, wartość sztywności sprężyny 62500 N/m. Pomiedzy pontonami zamodelowano połączenia przegubowe umożliwiające wzajemne obroty sąsiednich pontonów względem siebie. W stanie nieobciążonym pomiędzy pontonami występują luzy montażowe o wartości 10 mm.

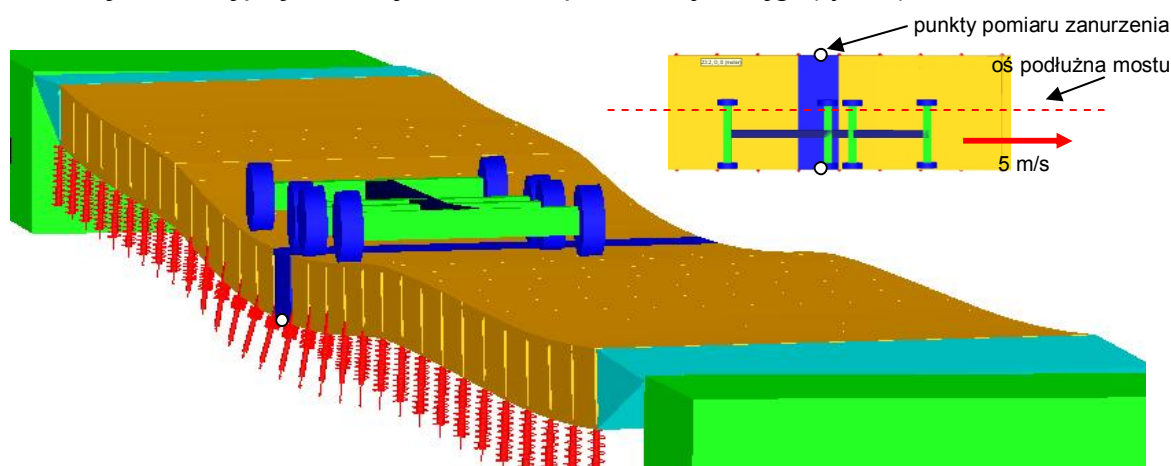


Rys. 3. Model mostu PP-64 wykonany w programie MSC Adams



Rys. 4. Szczegół A - widok fragmentu modelu mostu pływającego

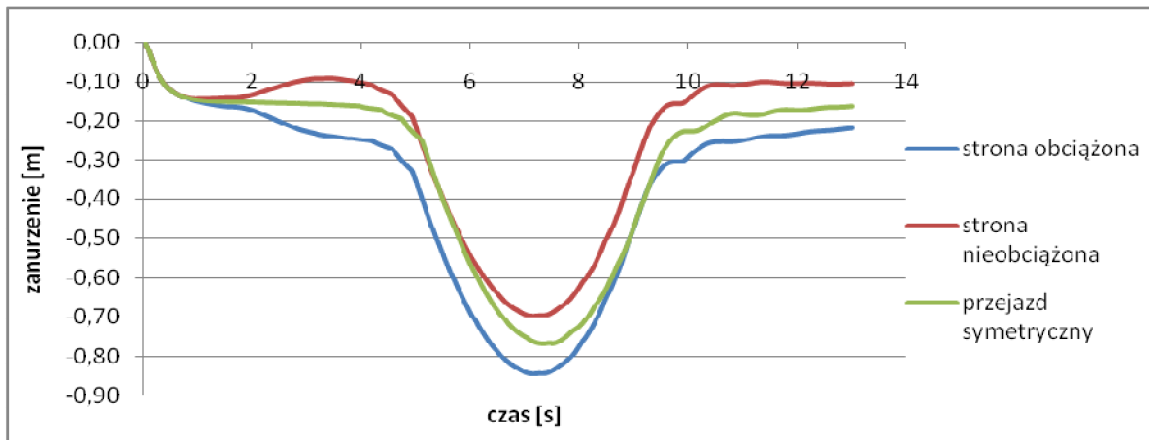
Model przeprowadzanego pojazdu kołowego wykonano według zaleceń normowych i klasy obciążenia MLC50 (norma STANAG 2021 [2]). Model pojazdu zbudowano z zestawu brył sztywnych. Zachowano w nim odpowiednie odległości pomiędzy osiami pojazdu oraz normowe naciski na każdą oś zgodnie z normą [2]. W modelu wózka lawety nie uwzględniono elementów sprężysto – tłumiących odwzorowujących zawieszenie pojazdu. Bryły sztywne modelujące ramę są unieruchomione względem siebie. Pomiedzy pierwszą a drugą osią modelu lawety, wprowadzono połączenie ruchome w postaci przegubu kulistego. Koła zamodelowano jako sztywne walce, które mogą obracać się względem osi obrotu. W analizach założono, że model lawety porusza się ze stałą prędkością wzdłuż osi podłużnej wstęgi (rys. 5).



Rys. 5. Niesymetryczne położenie modelu lawety względem modelu przeprawy i deformacja wstęgi w modelu 3D – widok ukośny

Analizowano symetryczny (koła pojazdu jednakowo oddalone od krawędzi wstęgi) i niesymetryczny przejazd lawety wojskowej o masie całkowitej 50 ton wzdłuż krawędzi jezdni, jak pokazano na rys. 5. W każdej symulacji pojazd poruszał się z prędkością 5 m/s. Kolorem niebieskim zaznaczono na rys. 5 ponton, dla którego rejestrowano wartości zanurzenia. Pojazd poruszający się wzdłuż krawędzi jezdni mostu (przejazd niesymetryczny) powoduje jednocześnie skręcenie i zginanie konstrukcji. Deformacje w płaszczyźnie skręcania widoczne są na całej długości wstęgi. Zanurzenia wstęgi rejestrowano zatem w pontonie środkowym na obu krawędziach tworzących skrajnię wstęgi tj. na krawędzi przeprawy wzdłuż której porusza się laweta – strona obciążona i na krawędzi przeciwległej – strona odciążona wstęgi (rys. 5). Na rys. 6 przedstawiono krzywe opisujące zmianę zanurzeń obu krawędzi pontonu podczas przejazdu niesymetrycznego. Trzecia, środkowa krzywa na rys. 6 odpowiada zmianie zanurzeń pontonu środkowego podczas symulacji symetrycznego przejazdu lawety. Na początku każdej symulacji most zanurza się pod obciążeniem własnym na głębokość około 0.15 m. Na prezentowanych wykresach łatwo można zidentyfikować moment najazdu lawety na wstęgę. Odbywa się to po upływie około 1 sekundy symulacji. Po wjeździe lawety na wstęgę obserwuje się rozdzielanie krzywych opisujących deformacje konstrukcji od jednoczesnego zginania i skręcania pod wpływem niesymetrycznego położenia ciężaru pojazdu. Dociążona krawędź wstęgi zanurza się głębiej niż

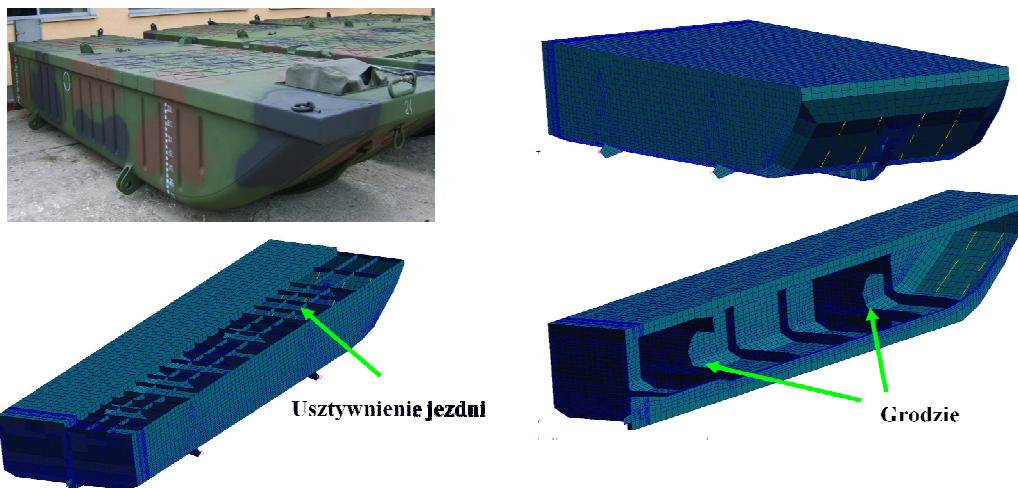
odpowiadająca jej przeciwległa – odciążona część pontonu. Maksymalna wartość zanurzenia jakie osiąga dociążona skręcaniem burta mostu wynosi 0.84 m i jest o ponad 7% większe od zanurzenia zarejestrowanego podczas przejazdu symetrycznego.



Rys. 6. Zmiany zanurzenia krawędzi mostu dociążonej i odciążonej skręcaniem odniesione do zanurzenia wywołanego symetrycznym przypadkiem obciążenia.

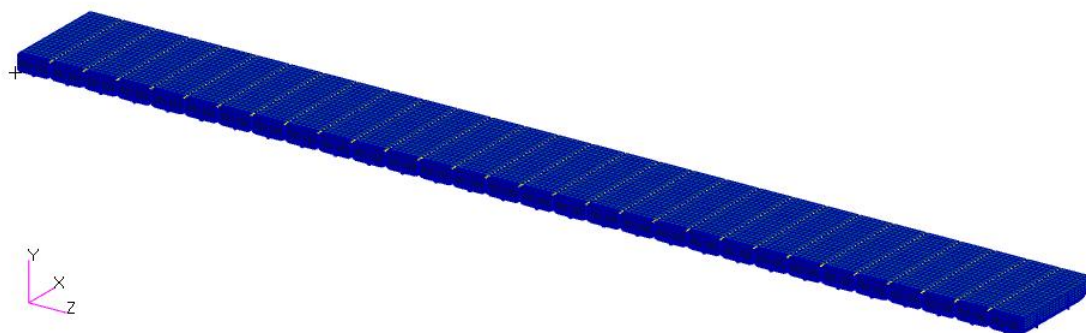
3. MODEL 3D ODKSZTAŁCALNY MOSTU WYKONANY W PROGRAMIE MSC PATRAN – WYNIKI ANALIZ

Segment mostu pontonowego PP-64 jest całkowicie spawaną metalową konstrukcją, materiał użyty do budowy: stal konstrukcyjna 18G2 E = 200 GPa, $R_m = 600$ MPa, $R_{eH} = 413$ MPa, $R_{eL} = 391$ MPa. Składa się on z przestrzennego szkieletu, który jest strukturą nośną pontonu i rozpiętego na nim poszycia zewnętrznego w postaci wyprofilowanej blachy o odpowiednich grubościach. W skład szkieletu pontonu wchodzi: dwie grodzie z zaczepami głównymi, które służą do łączenia segmentów we wstęgi o odpowiednich konfiguracjach, kratownica pokładu, służąca do przenoszenia na całą konstrukcję obciążeń powstających na powierzchni jezdni, wręgi burtowe służące do usztywniania konstrukcji oraz dna pontonu poprzez połączenie z płozą i wzdłużnikiem środkowym (rys. 7).



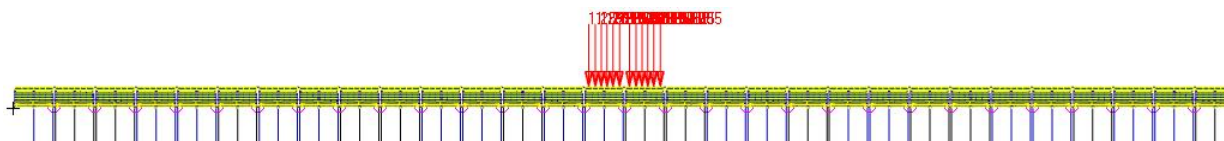
Rys. 7. Trójwymiarowy model pontonu z pokazanymi podzespołami wewnętrznymi.

Analizowany numerycznie odcinek mostu składa się z 30 pontonów połączonych ze sobą złączami burtowymi. Pomiedzy segmentami uwzględniono luz montażowy o odpowiedniej wartości (od 1 do 15 mm).

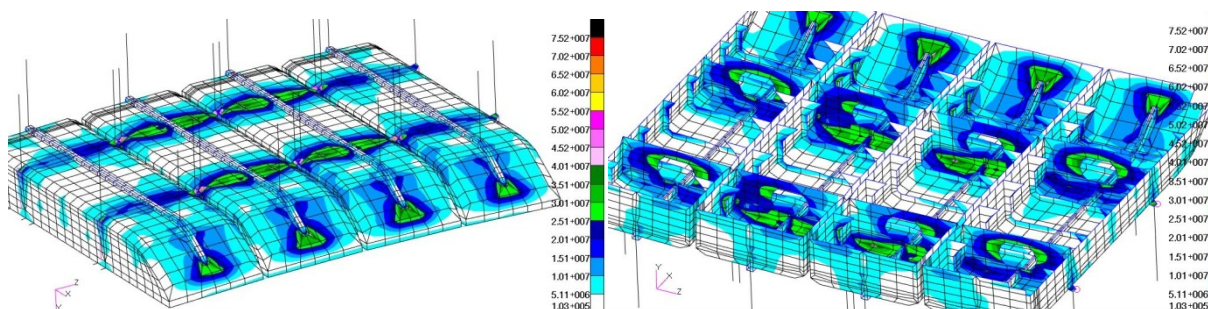


Rys. 8. Model odcinka mostu pływającego składającego się z 30 pontonów: rzut izometryczny

Model mostu obciążono zastępczym ciśnieniem przyłożonym do dwóch centralnych pontonów wstęgi (rys. 9) [4]. Wartość tego ciśnienia odpowiada ciężarowi pojazdu o masie 50 ton, przeprawianego przez most. Wykonano analizy quasi-statyczne, dla jednego wybranego położenia obciążenia-w połowie długości badanego odcinka mostu.



Rys 9. Model obciążenia w widoku rozważanego odcinka wstęgi pływającej.



Rys 10. Mapa naprężeń w pontonach środkowych wstęgi (luz 15 mm)- widok od strony dna oraz na strukturę wewnętrzną pontonów bez jezdni- $\sigma_{zr \max} = 75 \text{ MPa}$

Większe wartości naprężeń zarejestrowano w podzespołach wsporczych szkieletu pontonu tj. na grodziach oraz wręgach, znajdujących się wewnątrz konstrukcji (rys. 10) [3]. Grodzie są głównymi elementami usztywniającymi strukturę pontonu, dlatego też występują tam naprężenia pochodzące zarówno od jezdni (górną część grodzi), jak też od dna i złączy (dolną część grodzi). Złącza, jako główne elementy siłowe konstrukcji rozprawdają naprężenia wzdłuż wstęgi poprzez grodzie stanowiące fragment wewnętrznej struktury pontonów. Maksymalne naprężenia dla wstęgi z luzem 15 mm, występujące w tej części konstrukcji segmentu, wynoszą około 75 MPa (rys.11).

Najbardziej wyężonymi elementami konstrukcji pontonów pływających są złącza oraz grodzie wewnętrzne. Zmniejszenie luzów montażowych wstęgi powoduje zwiększenie wyężenia struktury pontonów – Tabela 1.

Tabela 1 Wartości maksymalnych naprężeń $\sigma_{zr\ max}$ w poszczególnych wariantach analiz

Luz [mm]	Złącza [MPa]	Płaszczyzna jezdni [MPa]	Grodzie [MPa]	Dno pontonu [MPa]
1	151	40	80	80
5	103	27	55	55
10	86	23	45	45
15	75	20	35	35

4. WNIOSKI

Zastosowanie metod numerycznych do badania wytrzymałości mostów pływających jako układów wielocłonowych umożliwia uwzględnienie ruchomych złączy pomiędzy pontonami wraz z luzami wstępnymi, oddziaływanie wody oraz różnych wariantów obciążeń, w tym odwzorowujących niesymetryczne położenie pojazdu względem osi podłużnej wstęgi, obciążenia ruchome, a także obciążenia niedopuszczalne ze względów bezpieczeństwa przeprawy.

Analizy numeryczne umożliwiają dobór optymalnych luzów montażowych i diagnozowanie ich wpływu na konstrukcje bez przeprowadzania czasochłonnych badań eksperymentalnych. Odpowiedni dobór luzów jest bardzo ważnym elementem dla poprawnego i bezpiecznego użytkowania mostów pontonowych.

Modele numeryczne kompletnej wstęgi mostu umożliwiają dokładne analizy działania mostu w różnych warunkach eksploatacji np. podczas niesymetrycznego przejazdu przeprowianego pojazdu. Jest także dobrą alternatywą dla badań eksperymentalnych, które są drogie, trudne w realizacji, a często także wręcz niemożliwe np.: ze względów bezpieczeństwa konstrukcji i załogi.

Literatura

- [1] Krasoń W., Wieczorek M.: *Wytrzymałość mostów pływających w ujęciu komputerowym*, Warszawa, BEL Studio, 2004
- [2] STANAG 2021.: *Wojskowe obliczenia klasyfikacji mostów, promów, tratw i pojazdów*, Wydanie 6
- [3] Dacko M, Borkowski W, Dobrociński i inni: *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*, Warszawa, Arkady, 1994
- [4] Reference Manual, MSC.PATRAN, Version r2, MSC.Software, 2005