

Mgr inż. Karol CHŁUS, e-mail: kchlus@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej

Dr inż. Wiesław KRASOŃ, email: wkrason@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej

SYMULACJA ODDZIAŁYWANIA OBCIĄŻENIA STATYCZNEGO I DYNAMICZNEGO NA WYTRZYMAŁOŚĆ PLATFORMY KOLEJOWEJ

Streszczenie: Celem pracy jest zbudowanie modelu numerycznego platformy wagonu kolejowej, wykonanie obliczeń statycznych i porównanie wyników obliczeń z wynikami eksperymentalnymi pomiaru strzałki ugięcia rzeczywistej platformy wagonu kolejowego, a także wykonanie analizy dynamicznej. Badana platforma kolejowa służy do transportu pojemników wymiennych w systemie ACTS (Abroll Container Transport System- odsuwany, kontenerowy system transportowy). Analizę wytrzymałościową konstrukcji ramy takiego wagonu wykonano metodą elementów skończonych MES. Dyskretny model MES wykonano za pomocą preprocesora MSC Patran a do obliczeń użyto programu MSC Nastran. Otrzymane wyniki analizy statycznej zweryfikowano za pomocą wyników eksperymentalnych pomiaru strzałki ugięcia rzeczywistej platformy wagonu kolejowego. Zweryfikowany model numeryczny użyto do analizy modalnej drgań własnych i do analizy dynamicznej z obciążeniem zmiennym w czasie.

SIMULATION OF STATIC AND DYNAMIC LOAD IMPACT TO RAILWAY PLATFORM STRENGTH

Abstract: The aim of the paper is to build a numerical model of a railway wagon, to perform statics calculation as well as to compare the calculations results with the experimental results of measurement of a real railway wagon maximal deflection and to develop dynamic analyses. The examined railway wagon was designed to transport interchangeable containers in ACTS (Abroll Container Transport System). 3D shell-beam model of the wagon were prepared to perform strength and dynamic numerical analyses with a finite element method (FEM). The discreet FEM model was built using MSC Patran preprocessor and MSC Nastran program was applied in numerical analysis. The obtained results were verified based on the experimental results of measurement of the real railway wagon maximal deflection. The verified model was applied both for modal analysis of free vibration and time dependent dynamic analysis.

1. WSTĘP

Transport kombinowany kolejowo-drogowy stanowi obecnie w Europie znaczącą alternatywę dla towarowego transportu samochodowego. W systemach przewozów intermodalnych dużą rolę odgrywają wygodne i sprawne systemy przeładunkowe [3]. Bazują one najczęściej na zasadzie przeładunku poziomego (system ACTS).

W niniejszej pracy zaprezentowano wybrane elementy metodyki badań numerycznych wytrzymałości układu rama podwozia-platforma ładunkowa nadwozia wagonu [4]. Zaprezentowano modele numeryczne przykładowego wagonu kolejowego pracującego w systemie ACTS – rys. 1. Wagon taki posiada płaską ramę współpracującą z dwoma wózkami oraz trzy ruchome platformy, obracane względem węzłów centralnych (rys. 1) w celu ułatwienia operacji załadunku i rozładunku wymiennych pojemników. Platformy ładunkowe są blokowane po załadowaniu pojemników na czas transportu pomiędzy stacjami. Układ ramy z trzema platformami zablokowanymi w konfiguracji transportowej jest przedmiotem szczegółowych badań numerycznych i eksperymentalnych wagonu.

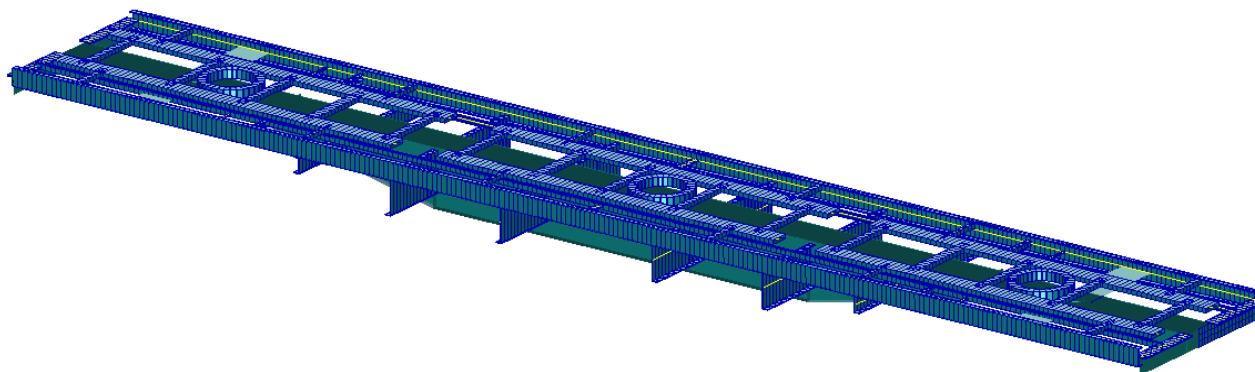


Rys. 1. Przykładowa platforma wagonu do przewozów intermodalnych [1]

W pierwszym etapie badań wykonano analizę statyczną układu rama-platformy ładunkowe wagonu w wariacie obciążeń dopuszczalnych i porównano wyniki obliczeń z wynikami eksperymentalnymi. Model rama z odpowiednio odwzorowanymi węzłami podparcia na wózkach jezdnych i platformami obrotowymi, po zweryfikowaniu jego poprawności, przystosowano do badań dynamicznych. Wykonano numeryczne badania częstości i postaci drgań własnych układu rama z platformami obrotowymi, zablokowanymi w położeniu transportowym wagonu. Wyniki posłużyły do opracowania parametrów charakterystyki dynamicznej badanego układu wagonu. Przedstawiono wybrane wyniki z dynamicznej symulacji próby najazdu wózków kolejowych na niewielką przeszkodę.

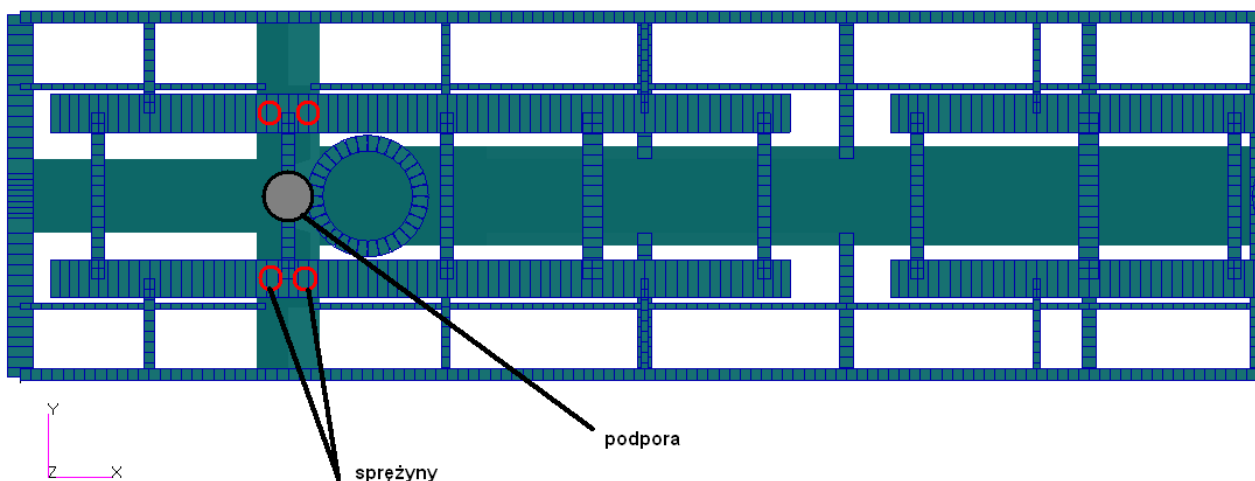
2. MODEL DYSKRETNY

W celu wykonania numerycznych analiz wytrzymałościowych i dynamicznych metodą elementów skończonych MES [2] zbudowano powłokowo-belkowy model 3D badanego wagonu. Cały model wagonu składa się z rama-ostoi wagonu i trzech platform obrotowych rozmieszczonych na płycie głównej rama (rys. 2). Dyskretny model MES wykonano za pomocą preprocesora MSC Patran a do obliczeń użyto programu MSC Nastran [5].



Rys. 2. Model platformy podwozia wagonu

W modelu numerycznym wprowadzono odpowiednie warunki brzegowe odpowiadające podparciu rama wagonu na czopach skrętnych oraz ślizgach bocznych wózków, symetrycznie po obu stronach modelu. Ślizgi boczne pomiędzy wózkami i ramą badanego wagonu zamodelowano za pomocą elementów sprężystych o odpowiednio dobranych sztywnościach. Elementy te wprowadzono w miejscach występowania kontaktu pomiędzy belką poprzeczną rama wagonu a wózkami, jak na rys. 3 i 4. Elementy te rozmieszczono symetrycznie po obu stronach wagonu. Sztywność pojedynczego elementu sprężystego użytego do odwzorowania ślizgu w modelu wynosi $k = 4 \cdot 10^7$ N/m.

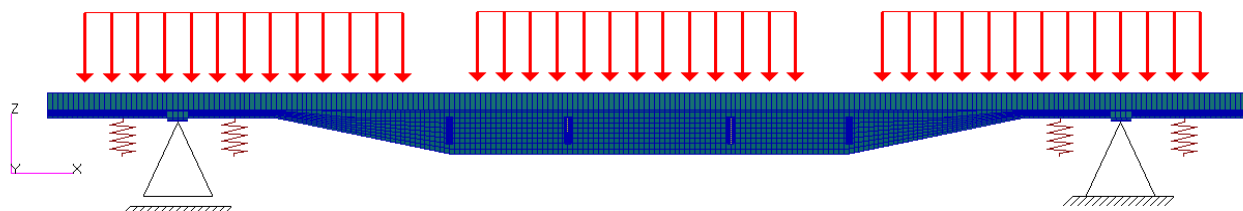


Rys. 3. Rozmieszczenie elementów sprężystych

Wszystkim elementom modelu przypisano parametry przekrojów odpowiadające rzeczywistym. Materiał zdefiniowano jako stal o standardowych parametrach wytrzymałościowych, jak dla stali konstrukcyjnej.

3. WERYFIKACJA MODELU NUMERYCZNEGO – ANALIZA STATYCZNA

Otrzymane wyniki obliczeń numerycznych MES w postaci ugięcia wagonu z platformami załadowanymi miałem węglowym (rys. 4) o ciężarze całkowitym 71 ton porównano z wynikami eksperymentalnymi pomiaru strzałki ugięcia rzeczywistego wagonu w statycznej próbie obciążenia (rys. 5).

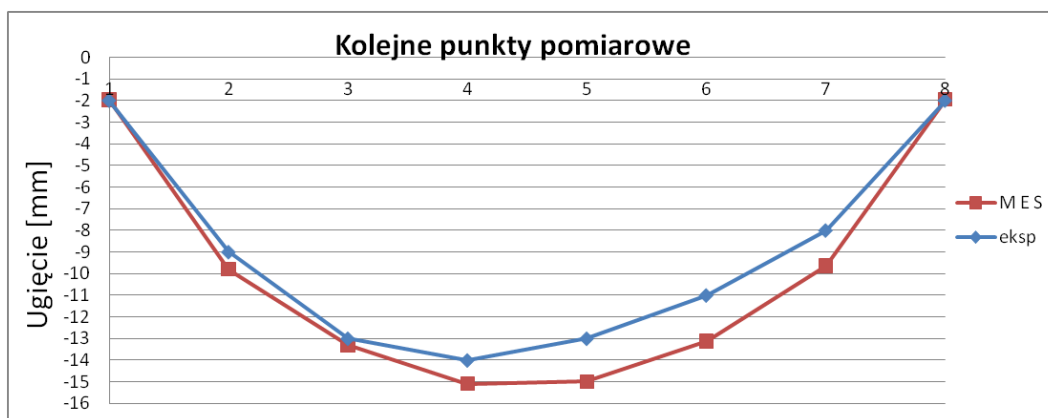


Rys. 4. Model numeryczny z przyjętymi warunkami brzegowymi

Maksymalna wartość ugięcia ramy wagonu otrzymana z analizy numerycznej wynosi 15.1mm a maksymalne naprężenia zredukowane wg hipotezy H-M-H [6] wynoszą 168MPa. Na rys. 5 porównano linie ugięć wyznaczonych eksperymentalnie oraz wyznaczonych za pomocą MES. Wartości maksymalne naprężeń zredukowanych i przemieszczeń pionowych ramy wagonu zestawiono w tabeli 1. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że modele numeryczne i zastosowane warunki brzegowe poprawnie odwzorowują rzeczywistą konstrukcję badanego układu. Modele mogą być zastosowane do innych symulacji działania układu rama-platformy ładunkowe wagonu.

Tabela 1. Zestawienie wyników dla poszczególnych modeli

Porównywana wartość	Eksperyment	MES
Ugięcie [mm]	14	15.1
Naprężenia zredukowane [MPa]	$\frac{Re}{x} = \frac{350}{2} = 175$	168



Rys. 5. Ugięcia wagonu wyznaczone numerycznie i eksperymentalnie w kolejnych punktach pomiarowych

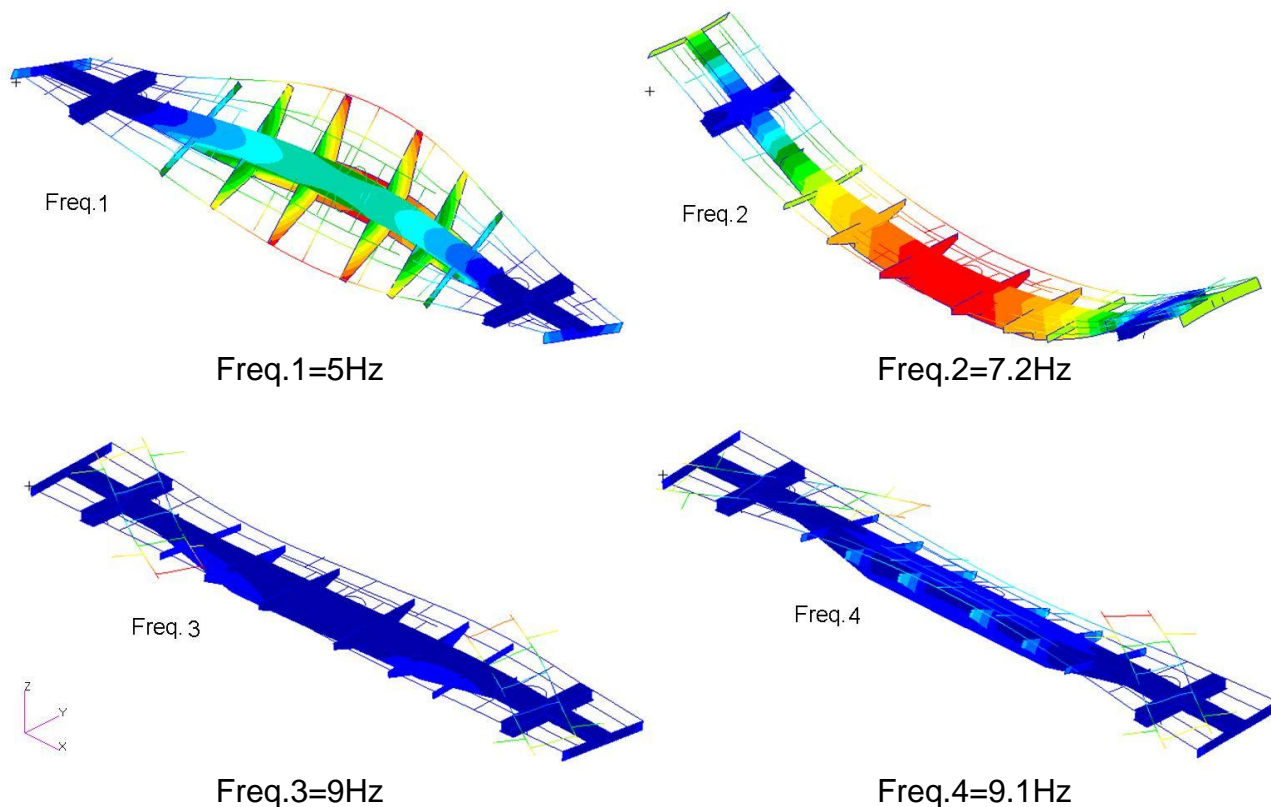
4. WYNIKI ANALIZY DYNAMICZNEJ

Zweryfikowany model MES poddano analizie modalnej. Analiza modalna służy do wyznaczenia kolejnych postaci drgań własnych oraz częstości drgań własnych. W tego typu analizach nie uwzględnia się wpływów tłumienia, ani działania obciążenia zewnętrznego na model. Wartości drgań własnych otrzymuje się poprzez rozwiązanie następującego równania:

$$B\ddot{q} + Kq = 0 \quad (1)$$

gdzie: q – przemieszczenie węzłowe; K – macierz sztywności związana z przemieszczeniem; B – macierz bezwładności związana z przyśpieszeniem.

Otrzymane wyniki analizy modalnej służą do wyznaczenia parametrów tłumienia warunkujących kolejne analizy dynamiczne. Na rys. 8 przedstawiono obliczone postaci drgań własnych.



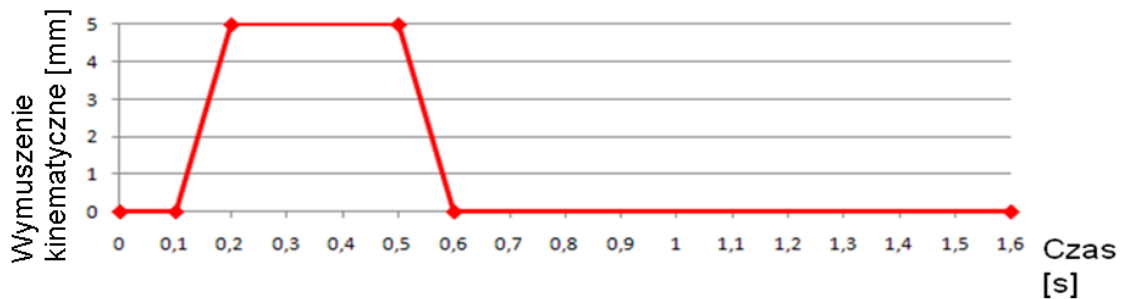
Rys. 6. Analiza modalna: kolejne postaci drgań własnych oraz częstości drgań własnych

W analizie dynamicznej odpowiedź konstrukcji na wymuszenie jest obliczana poprzez bezpośrednie całkowanie równań ruchu. Podstawowe równanie ruchu uwzględnia tłumienie i wymuszenie zewnętrzne:

$$[B]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{P\} \quad (2)$$

gdzie: q – przemieszczenie węzłowe; K – macierz sztywności związana z przemieszczeniem; C – macierz tłumienia związana z prędkością; B - macierz bezwładności związana z przyśpieszeniem; P - wymuszenie zewnętrzne.

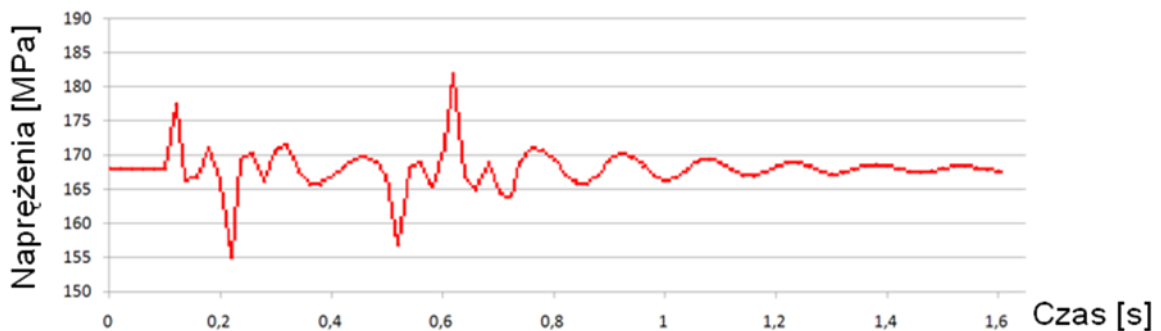
W pracy przedstawiono wyniki symulacji przejazdu ramy wagonu kolejowego z obciążonej ciężarem ładunku przez niewielką przeszkodę. Parametry analizy dobrano tak, aby odwzorowywały hipotetyczny najazd przedniego wózka wagonu na przeszkodę o wysokości 5mm. Na rysunku 7 pokazano przebieg wymuszenia kinematycznego w czasie dla elementów podpory lewej, dla których przyłożono wymuszenie kinematyczne. Na rysunku 8 przedstawiono odpowiedź konstrukcji w postaci zmiany przemieszczeń pionowych dla węzła środkowego w połowie długości wagonu. Na rysunku 9 przedstawiono zmianę naprężeń zredukowanych dla najbardziej wyętego elementu konstrukcji.



Rys. 7. Przebieg wymuszenia kinematycznego



Rys. 8. Zmiana przemieszczeń pionowych dla węzła środkowego w połowie długości wagonu w funkcji czasu



Rys. 9. Zmiana naprężeń zredukowane dla najbardziej wyętego elementu konstrukcji w funkcji czasu

5. WNIOSKI

Przedmiotem badań w niniejszej pracy jest model wagonu kolejowego do intermodalnego transportu pojemników w systemie ACTS. W pracy przedstawiono wyniki analizy statycznej. Wyniki zweryfikowano za pomocą wyników eksperymentalnych pomiaru strzałki ugięcia rzeczywistej platformy wagonu kolejowego. Otrzymana wartość ugięcia z numerycznej próby statycznej odpowiada wartości eksperymentalnej (różnica ok. 8%). Naprężenia zredukowane nie przekraczają naprężeń dopuszczalnych, których wartość $R_{e/x}$ wynosi 175MPa. Na podstawie wyników z analizy statycznej możemy stwierdzić, że opracowany model jest poprawny i może posłużyć do dalszych badań wytrzymałościowych.

Zbadano także wpływ wymuszenia zmiennego w czasie na ugięcie i wyężenie elementów konstrukcyjnych wagonu. W tym celu wykonano symulację przejazdu wagonu kolejowego przez niewielką przeszkodę. Maksymalne ugięcie i naprężenia zredukowane zarejestrowano podczas zjazdu wózka kolejowego z przeszkody. Wartość ugięcia w tym przypadku wyniosła 16.1mm, natomiast wartość maksymalna naprężeń zredukowanych wyniosła 182 MPa (w próbie statycznej wartość ta wynosi 168MPa).

Literatura

- [1] KWAŚNIEWSKI S., NOWAKOWSKI T.: *Transport intermodalny w sieciach logistycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2008
- [2] RUSIŃSKI E., CZMOCHOWSKI J., SMOLNICKI T.: *Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000
- [3] DOMAGAŁA M., HAWRYLUK M., LISOWSKI E.: *Optymalizacja konstrukcji platformy kolejowej do przewozu ciężkich ładunków*, Transport Przemysłowy, nr 2(34), 1994, s.40-43
- [4] BARNAT W., DAMAZIAK K., KRASOŃ W., NIEZGODA T., SYBILSKI K.: *Wybrane aspekty badań numerycznych modyfikacji konstrukcyjnych wagonu kolejowego z obrotową platformą ładunkową*, XII Konferencja Naukowo-Techniczna TKI Słok k. Bełchatowa, 18–21 października 2011
- [5] Reference Manual, MSC.PATRAN, MSC.NASTRAN, V2, MSC.Software, 2005.
- [6] NIEZGODZIŃSKI M. i T.: *Wytrzymałość materiałów*, PWN, Warszawa 2002