

Marcin Mateusz Nowacki, Rafał Grzejda

Numeryczna analiza wytrzymałości ramy wózka wagonu towarowego

Współczesne metody analizy konstrukcji umożliwiają przeprowadzenie wieloaspektowych badań danego obiektu już na etapie projektowania (przed wytworzeniem tego obiektu) i zwalniają z konieczności wykonywania badań doświadczalnych (w przypadku, gdy obiekt istnieje).

Analiza wytrzymałości konstrukcji jest jednym z najważniejszych elementów procesu projektowania pojazdów szynowych. W przypadku wagonów kolejowych szczególnie istotna dla tego procesu jest analiza wytrzymałości układu biegowego. Na jej podstawie można m.in. optymalizować konstrukcję wózków wagonów towarowych, a tym samym wpływać na ich rozwój. Układy biegowe wagonów towarowych zazwyczaj są przystosowane do przeniesienia obciążenia równego 22,5 tony na oś zestawu kołowego [15]. Istnieją sposoby dostosowania układów biegowych do przenoszenia zwiększonego nacisku na oś – jednym z nich jest, zaproponowana w pracy [22], modernizacja na podstawie obliczeń wytrzymałościowych. Obliczenia tego typu są znakomitą alternatywą dla empirycznych badań wytrzymałościowych [20, 21]. Żeby jednak móc optymalizować konstrukcję danego układu biegowego, należy zbudować jego model. W niniejszej pracy podjęto temat modelowania układu biegowego na przykładzie standardowego wózka wagonów towarowych typu Y25 [4]. Celem pracy jest przedstawienie modelu ramy wózka wykonanego z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES) [1] oraz opisanie wybranych wyników badań symulacyjnych wytrzymałości jego konstrukcji. Prezentacja wyników optymalizacji konstrukcji rozpatrywanego modelu ramy wózka stanowić będzie przedmiot odrębnego artykułu przewidzianego do publikacji na łamach czasopisma TTS.

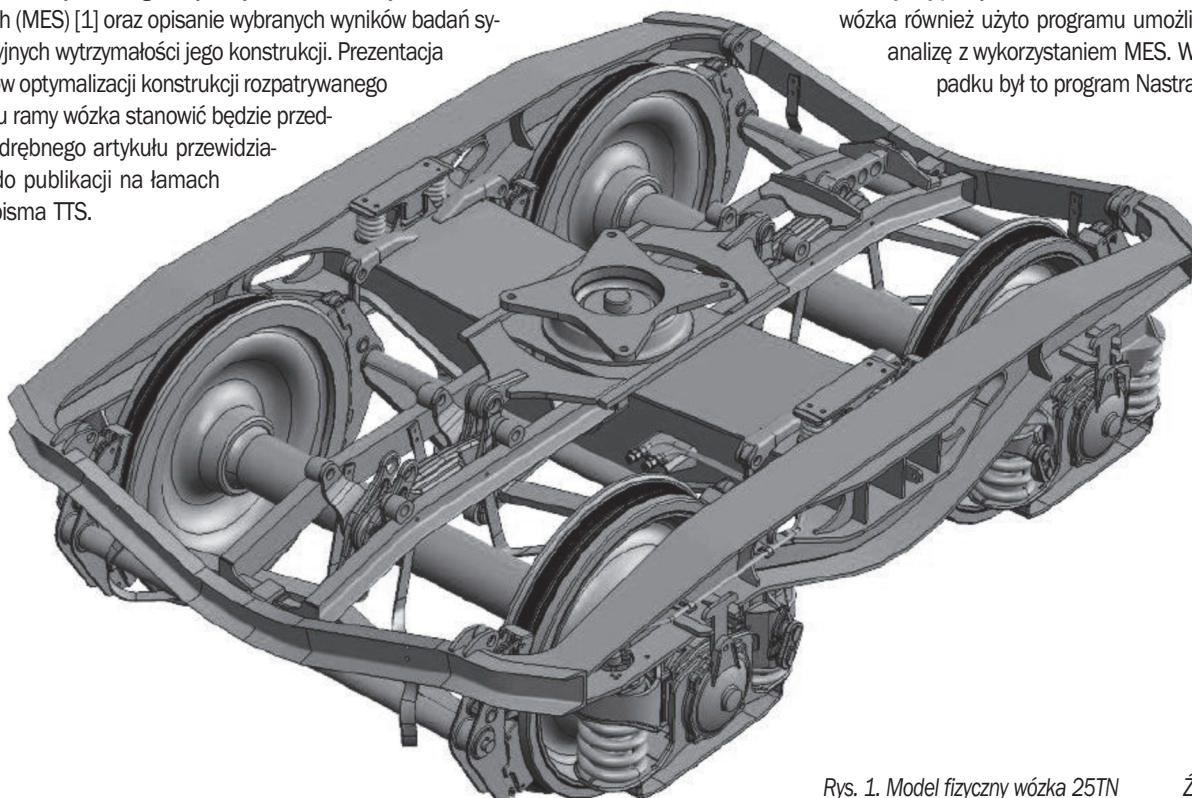
Podstawy analizy

Traktując układ biegowy wagonu towarowego jako pewien system, można w nim wydzielić cztery główne podsystemy: ramę, zestawy kołowe, usprężynowanie i łożyska toczne osi. W podręcznikach dotyczących podwozi pojazdów szynowych [3, 5] podano metody obliczeń zestawów kołowych, usprężynowania i łożysk tocznych, w których wykorzystuje się znane zależności właściwe dla typowych części maszyn, występujących w tych podsystemach. Korzystając z tych zależności, można w prosty sposób wyznaczyć poprawnie parametry i geometrię osi zestawów kołowych, sprężyn i łożysk tocznych. W klasycznych podręcznikach [3, 5] nie uwzględnia się natomiast obliczeń ram układów biegowych. Z uwagi na to, że są to elementy o złożonej geometrii, zaadoptowanie do ich obliczeń procedur znanych z teorii wytrzymałości materiałów [17] może mieć miejsce tylko w przypadku obliczeń wstępnych i szacowań.

Badając szerzej literaturę przedmiotu, można stwierdzić, że obecnie w analizie ram układów biegowych coraz powszechniej stosuje się modele utworzone w programach wykorzystujących MES [2, 6–14, 23]. Modele te w szczególności są stosowane do:

- ❑ statycznej analizy wytrzymałości [2, 10],
- ❑ analizy niezawodności i wrażliwości pod wpływem obciążeń zmiennych w czasie [14],
- ❑ określania wytrzymałości na zmęczenie [6, 8, 9, 11],
- ❑ rozwiązania zagadnień dynamicznych [12, 13, 23],
- ❑ analizy nowych rozwiązań ram układów biegowych [7].

W niniejszej pracy do modelowania i obliczeń ramy wózka również użyto programu umożliwiającego analizę z wykorzystaniem MES. W tym przypadku był to program Nastran FX.



Rys. 1. Model fizyczny wózka 25TN

Źródło: [16].

Przedmiot badań i jego model fizyczny

Przedmiotem badań symulacyjnych jest konstrukcja ramy dwuosiowego wózka 25TN, którego geometrię pokazano na rys. 1.

Przygotowując dane do utworzenia modelu fizycznego ramy, przyjęto następujące założenia:

1. rama jest elementem wózka wagonu węglarki budowy normalnej typu 423W o parametrach zebranych w tabeli 1 [16];
2. model złożony jest z dwóch elementów: konstrukcji nośnej i gniazda skrzętu;
3. konstrukcja nośna wózka i gniazdo skrzętu tworzą *continuum* materialne.

Zgodnie z dokumentacją techniczną wózka [16] do budowy modelu ramy dobrano następujące materiały:

- stal konstrukcyjną niestopową S275J2 (St4WD) [18] w przypadku konstrukcji nośnej ramy,
- staliwo węglowe konstrukcyjne ogólnego przeznaczenia 230-450 (LI450) [19] w przypadku gniazda skrzętu.

Parametry wytrzymałościowe dobranych materiałów podano w tabeli 2. Model fizyczny ramy, utworzony z wykorzystaniem programu Autodesk Inventor Professional, pokazano na rys. 2.

Zakres badań

Obliczenia podzielono na dwa etapy. Pierwszy z nich dotyczy analizy wózka obciążonego siłą F_L pochodzącą od wagonu ładownego (typ A), drugi – wózka wagonu obciążonego krytycznie siłą F_K (typ B). Siły F_L oraz F_K wyznaczono na podstawie zależności [16]:

$$F_L = \frac{M_C + M_L}{2} - (M_W + Q_{UL}) = 364,305 \text{ kN} \quad (1)$$

$$F_K = 1,5 \times F_L = 546,458 \text{ kN} \quad (2)$$

Do badań symulacyjnych wykorzystano model dyskretny pokazany na rys. 3. Powstał on w wyniku zaimplementowania geometrii modelu fizycznego zbudowanego w programie Autodesk Inventor Professional do programu Nastran FX. Model został utwierdzony na powierzchniach przylegających w układzie rzeczywistym do prowadników maźnicy oraz – w kolejnych etapach obliczeń – obciążony siłami F_L oraz F_K na kulistej powierzchni gniazda skrzętu, w kolejnych etapach obliczeń.

Wyniki obliczeń, rozumiane jako naprężenia zredukowane w materiałach badanych elementów, porównywano z danymi pokazanymi w tabeli 2:



Rys. 2. Model fizyczny ramy wózka

Źródło: oprac. własne.

Tab. 1
Dane do obliczeń wózka wagonu typu 423W

Parametr	Oznaczenie	Wartość [kN]
Ciężar wagonu	M_C	235,44
Ciężar ładunku	M_L	647,46
Ciężar wózka	M_W	44,145
Obciążenie przejmowane przez usprężynowanie dla wagonu ładownego	Q_{UL}	33

Źródło: oprac. własne.

Tab. 2
Parametry wytrzymałościowe materiałów elementów ramy

Element	Typ stali	Granica plastyczności R_e [MPa]	Wytrzymałość doraźna R_m [MPa]	Naprężenia dopuszczalne k [MPa] (na podst. [3])
Konstrukcja nośna	S275J2 (St4WD)	265	410÷560	238,5
Gniazdo skrzętu	230-450 (LI450)	230	450÷600	200

Źródło: oprac. własne.

- z naprężeniami dopuszczalnymi k w przypadku obliczeń typu A,
- z wytrzymałością doraźną R_m w przypadku obliczeń typu B [15].

Wyniki badań i ich analiza

Ponieważ otrzymane mapy naprężeń są podobne jakościowo, w artykule zamieszczono tylko przykładowe z nich, otrzymane na podstawie obliczeń typu A. Pokazano je, odpowiednio dla analizowanych elementów, na rys. 4 i 5. Maksymalne wartości naprężeń zredukowanych w konstrukcji nośnej ramy oraz w gnieździe skrzętu, uzyskane w badanym zakresie obciążeń, zebrano w tabeli 3. We wszystkich przypadkach są one mniejsze od wartości naprężeń dopuszczalnych.

Założone kryteria oceny wytrzymałości konstrukcji ramy wózka zostały spełnione zarówno dla obciążeń eksploatacyjnych odpowiadających stanowi wagonu ładownego, jak i dla przyjętych obciążeń krytycznych.

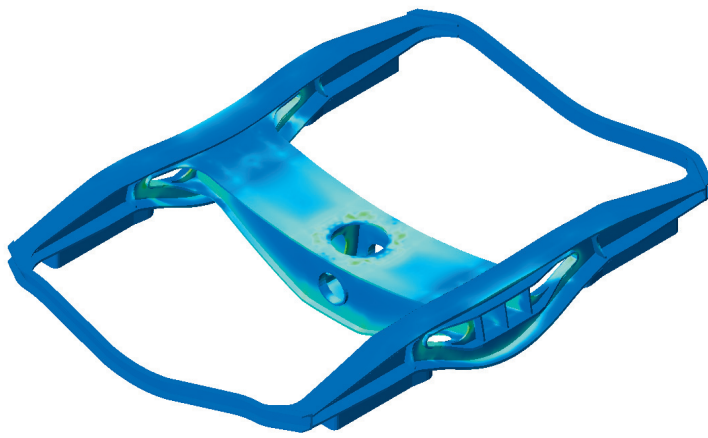
Podsumowanie

W pracy podjęto temat modelowania i statycznych obliczeń ramy wózka wagonu towarowego typu 25TN przy użyciu programów Autodesk Inventor Professional oraz Nastran FX. Wykonano model ramy oraz przeprowadzono analizę wytrzymałości konstrukcji ramy obciążonej siłami



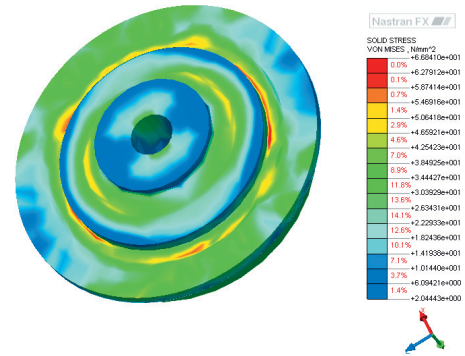
Rys. 3. Model dyskretny ramy wózka

Źródło: oprac. własne.



Rys. 4. Naprężenia zredukowane w konstrukcji nośnej ramy wózka według obliczeń typu A

Źródło: oprac. własne.



Rys. 5. Naprężenia zredukowane w gnieździe skreту według obliczeń typu A

Źródło: oprac. własne.

pochodzącymi od wagonu ładownego oraz obciążonej krytycznie. W żadnym z tych przypadków w materiałach badanej konstrukcji przyjęte naprężenia dopuszczalne nie zostały przekroczone. Zbudowany model wózka może zostać poddany optymalizacji w celu osiągnięcia konstrukcji o większej wytrzymałości.

Bibliografia:

- [1] Adams V., Askenazi A., *Building better products with finite element analysis*, OnWord Press, Santa Fe 1999.
- [2] Beran J., *Pevnostní analýza rámu podvozku železničního vozu* [praca dyplomowa, mps npbl.], Univerzita Pardubice, Pardubice 2011.
- [3] Gąsowski W., *Wagony kolejowe. Konstrukcja i badania*, WKŁ, Warszawa 1988.
- [4] Gąsowski W., Sobaś M., *Konstrukcyjne sposoby zmniejszenia hałasu w układach biegowych wagonów towarowych*, „Pojazdy Szynowe” 2013, nr 1.
- [5] Gąsowski W., Sobczak M., *Układy biegowe wagonów kolejowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1987.
- [6] Han J.-W., Kim J.-D., Song S.-Y., *Fatigue strength evaluation of a bogie frame for urban maglev train with fatigue test on full-scale test rig*, „Engineering Failure Analysis” 2013, Vol. 31.
- [7] Hou J., Jeronimidis G., *A novel bogie design made of glass fibre reinforced plastic*, „Materials & Design” 2012, Vol. 37.
- [8] Jeon K. W., Shin K. B., Kim J. S., *A study on fatigue life and strength of a GFRP composite bogie frame for urban subway trains*, „Procedia Engineering” 2011, Vol. 10.
- [9] Kassner M., *Fatigue strength analysis of a welded railway vehicle structure by different methods*, „International Journal of Fatigue” 2012, Vol. 1 (34).
- [10] Kim J. S., Yoon H. J., *Structural behaviors of a GFRP composite bogie frame for urban subway trains under critical load conditions*, „Procedia Engineering” 2011, Vol. 10.
- [11] Kim J.S., *Fatigue assessment of tilting bogie frame for Korean tilting train: Analysis and static tests*, „Engineering Failure Analysis” 2006, Vol. 8 (13).
- [12] Kłasztorny M., Niezgoda T., Dziewulski P., *Modelowanie i symulacja numeryczna wężykowania szybkobieżnego pojazdu szynowego Shinkansen na torze prostoliniowym*, „Biuletyn WAT” 2011, Vol. 1 (60).
- [13] Luo R. K., Gabbitis B. L., Brickle B. V., *Dynamic stress analysis of an open-shaped railway bogie frame*, „Engineering Failure Analysis” 1996, Vol. 1 (3).
- [14] Lü H. et al., *Reliability and sensitivity of bogie frame of high-speed train with strength degradation*, „Journal of Central South University” 2013, Vol. 12 (20).
- [15] Medwid M. et al., *Symulacyjne badania numeryczne wytrzymałości konstrukcji adapterów taboru bimodalnego do ruchu „S” i „SS”*, „Pojazdy Szynowe” 2012, nr 3.
- [16] Nowacki M. M., *Modelowanie i analiza wytrzymałości układu biegowego wagonu towarowego* [praca magisterska, mps npbl.], Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin 2013.
- [17] Ostwald M., *Podstawy wytrzymałości materiałów*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
- [18] PN-EN 10025-2: 2007. *Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych. Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych*.
- [19] PN-ISO 3755: 1994. *Staliwo węglowe konstrukcyjne ogólnego przeznaczenia*.
- [20] Sanecki H. et al., *Rozwój metod badawczych własności mechanicznych taboru w sześćdziesięcioletniej historii Instytutu Kolejnictwa*, „Problemy Kolejnictwa” 2011, Vol. 55 (153).
- [21] Sobaś M., *Badania wytrzymałościowe wózka 11ANc*, „Pojazdy Szynowe” 2010, nr 2.
- [22] Sobaś M., Miklasz R., *Aktualne tendencje w rozwoju wózków wagonów towarowych*, „Pojazdy Szynowe” 2004, nr 2.
- [23] Zehsaz M. et al., *Effect of increasing speed on stress of biaxial bogie frames*, „Engineering” 2011, Vol. 3 (3).

Tab. 3

Maksymalne wartości naprężeń zredukowanych w modelu ramy

Element	Maksymalne naprężenia [MPa]	
	Typ A	Typ B
Konstrukcja nośna	237,80	356,69
Gniazdo skreту	66,84	100,26

Źródło: oprac. własne.

Autorzy:

Mgr inż. **Marcin Mateusz Nowacki** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Dr inż. **Rafał Grzejda** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie