

Tomasz WOJDYŁA¹

ANALIZA OBCIĄŻENIA KOŁA KOLEJOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych wagonu osobowego 152 Aa na jego zachowanie podczas ruchu po różnych odcinkach toru. W modelowaniu toru kolejowego uwzględniono rzeczywiste wartości jego nierówności. Model wagonu wykonano w programie UNIVERSAL MECHANISM. Obliczono wielkości sił działających na koło kolejowe. Wyznaczono również wielkość współczynnika dynamicznego wykorzystywanego w programach służących do analizy wytrzymałości z wykorzystaniem MES.

Słowa kluczowe. Dynamika, kolejowy zestaw kołowy, modelowanie, współczynnik dynamiczny.

ANALYSIS OF RAILWAY WHEEL LOADS

Summary. Analysis of impact of design and service parameters of 152Aa passenger carriage on forces acting upon wheels is presented in this paper (different runs over different track sections were simulated). Carriage model was created for UNIVERSAL MECHANISM software and is described. The calculated railway wheel force values are given. Basing on these data, dynamic coefficient used for stress analysis in FEM programs was evaluated.

Keywords. Dynamic, railway wheelset, modelling, dynamic coefficient.

1. WPROWADZENIE

Jednym z ważniejszych elementów badań pojazdów szynowych są badania jego zachowań dynamicznych podczas ruchu. Obejmują one nie tylko badania modeli pojazdów szynowych (w tym rozważania czysto teoretyczne), ale również badania eksperymentalne. Problemami tymi interesowało się wielu naukowców na świecie. W swoich pracach [1, 2, 3, 4, 8, 9, 13] zajmowali się określeniem różnych parametrów opisujących nie tylko ruch całego pojazdu, ale również jego elementów składowych (pułdo, wózki wagonu, zestawy kołowe). Rozważania te prowadzi się, wykorzystując analityczne metody wyprowadzania równań ruchu, a także – dla złożonych modeli o dużej liczbie stopni swobody – za pomocą specjalistycznych programów komputerowych (np. MSC.ADAMS, MEDYNA, SIMPACK, GENSYS czy UNIVERSAL MECHANISM).

Do badań dynamiki zestawu kołowego wagonu osobowego w niniejszej pracy wykorzystano program UNIVERSAL MECHANISM (UM).

¹ Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, e-mail: Tomasz.wojdyła@polsl.pl

W prowadzonych rozważaniach związanych z wykorzystaniem programów do prowadzenia analiz wytrzymałości elementów pojazdów szynowych (np. MSC.NASTRAN, ANSYS czy MSC.MARC) w małym stopniu wykorzystywano rezultaty analizy dynamiki. Przy obliczeniach związanych z badaniami wytrzymałości zestawów kołowych (nowych i eksploatowanych konstrukcji) sprawdzano również wielkość naprężeń pochodzących od sił dynamicznych. W celu wyznaczenia wielkości tych sił, przyjmowano najczęściej następującą zależność (rekomendowaną przez UIC) [10]:

$$F_{dyn} = \alpha_{dyn} \cdot F_{stat} \quad (1)$$

gdzie:

F_{dyn} – obciążenie dynamiczne koła kolejowego,

α_{dyn} – współczynnik dynamiczny,

F_{stat} – statyczny nacisk koła na szynę.

Wartość współczynnika dynamicznego była przyjmowana jako stała (najczęściej równa 3) i niezależna od parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych pojazdu szynowego oraz toru.

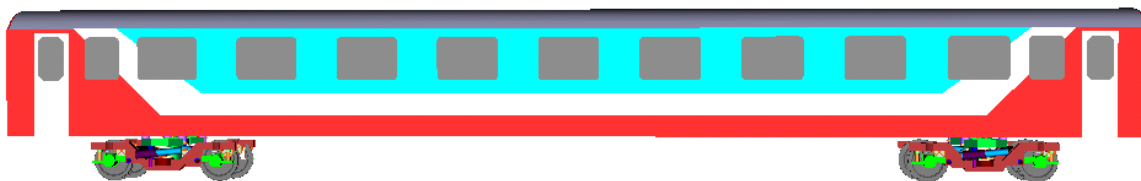
Do badań dynamiki zestawu kołowego wagonu osobowego w niniejszej pracy wykorzystano program UNIVERSAL MECHANISM (UM). Niniejszy artykuł stanowi podsumowanie kilkuletnich badań autora nad dynamiką wagonu pasażerskiego [5, 6, 7, 11, 12, 14, 15].

2. MODEL WAGONU OSOBOWEGO WYKONANY W PROGRAMIE UM

Do badań przyjęto wagon osobowy o oznaczeniu fabrycznym 152 Aa. Jest to wagon bezprzedziałowy pierwszej klasy, przeznaczony do ruchu krajowego i międzynarodowego. Jego podwozie oraz nadwozie są konstrukcją samonośną, całkowicie spawaną, wykonaną ze stali węglowych. Pierwsze egzemplarze były oparte na wózkach MD 524. Obecnie produkowany wagon oparty jest na wózkach 25ANa. Zestaw kołowy jest prowadzony względem ramy wózka za pomocą jednostronnego wahacza połączonego z ramą wózka przegubem metalowo – gumowym mocowanym do ramy za pomocą sworznia. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe wartości parametrów technicznych wagonu osobowego typu 152 Aa.

Model wagonu (rys.1.) wykonano w programie UNIVERSAL MECHANISM. Został on wykonany jako połączenie pudła wagonu z dwoma wózkami. Założono, że zestawy kołowe mają średnicę 920 mm i poruszają się po torze kolejowym zbudowanym z szyn typu UIC 60. Szyny zamodelowano jako elementy niezużyte. Na wózku oparta jest belka poprzeczna, która, za pomocą czopa skrętu, połączona jest z pudłem wagonu. Pierwszy stopień usprężynowania na wózku stanowi układ czterech sprężyn śrubowych i czterech tłumików pionowych. Drugi stopień swobody łączy ze sobą ramę wózka z belką poprzeczną. W modelu połączenie to zamodelowano jako układ dwóch sprężyn, dwóch tłumików pionowych i dwóch tłumików poprzecznych. Tłumik wężykowania łączy ze sobą pudło wagonu i ramę wózka. Belka bujakowa jest połączona z pudłem za pomocą czopa skrętu.

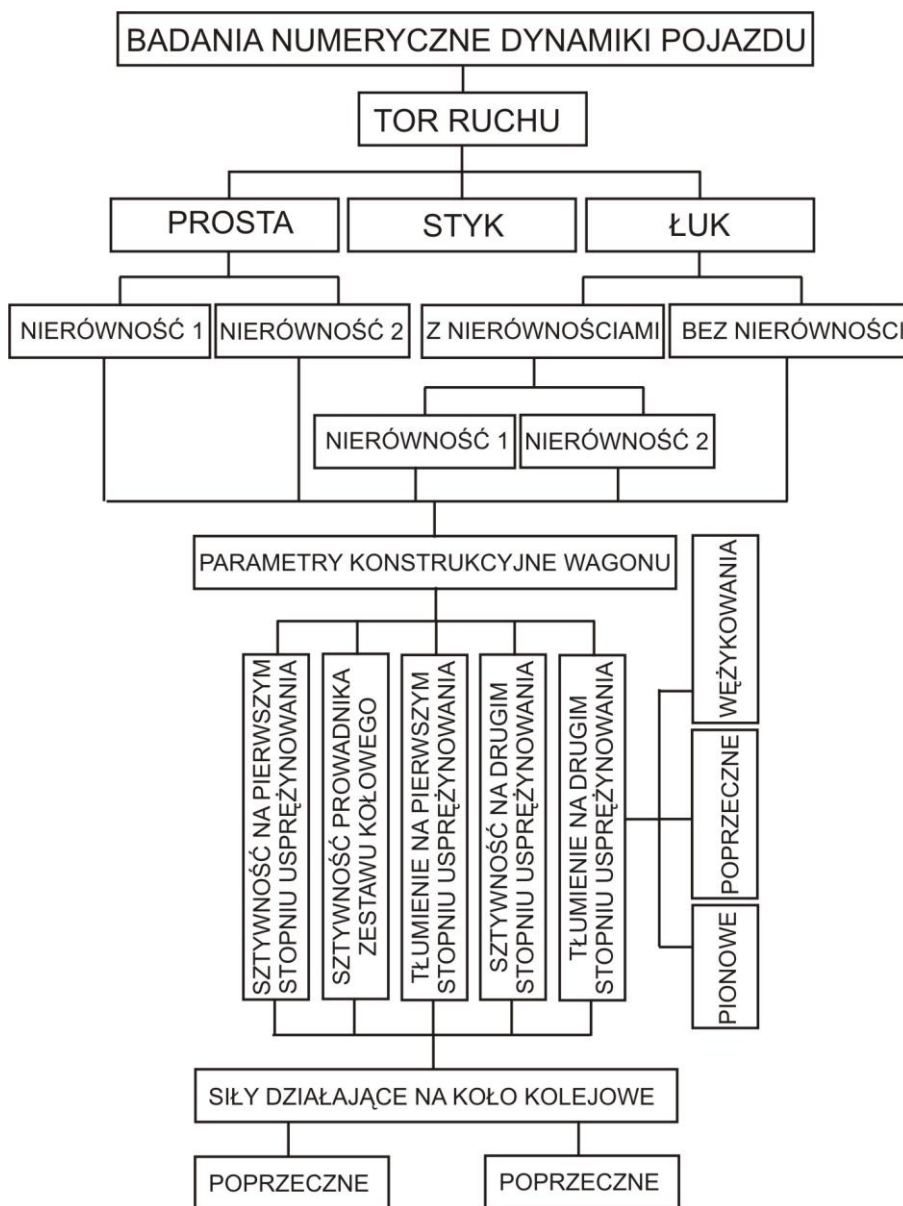
Tak przygotowany model poddany został badaniom symulacyjnym w programie UM.



Rys. 1. Model wagonu wykonany w programie UNIVERSAL MECHANISM [11]

Fig. 1. Carriage model constructed in UNIVERSAL MECHANISM program

3. BADANIA SYMULACYJNE



Rys.2. Schemat przeprowadzonych badań symulacyjnych [11]

Fig.2. Diagram of conducted simulation's research

Schemat badań symulacyjnych przedstawiono na rysunku 2. Założono, że modelowany pojazd poruszał się po wybranych odcinkach toru (prosta, łuk) z założonymi dwoma

rodzajami nierówności toru. Nierówności te zostały przyjęte z wykresów otrzymanych podczas badań stanu torów, przeprowadzanych na trasie Katowice – Zawiercie. Wybrano dwa odcinki o długości 1 km. Dla nich wyznaczono przebieg zmian nierówności pionowych i poprzecznych, który następnie został zamodelowany w programie komputerowym.

Dodatkowo przeprowadzono symulację zachowania się badanego modelu wagonu podczas przejazdu po styku szynowym. Sposób modelowania styku został opisany dokładnie w pracy [11]. W badaniach przeprowadzono symulacje przejazdu przez dwa różne styki szynowe.

W przeprowadzonych badaniach numerycznych badano wpływ następujących parametrów konstrukcyjnych wagonu na siły działające na koło kolejowe:

- sztywność sprężyn na pierwszym stopniu usprężynowania (k_1);
- tłumienie na pierwszym stopniu usprężynowania (c_1);
- sztywność prowadnika zestawu kołowego (k_{pl});
- sztywność sprężyn na drugim stopniu usprężynowania (k_2);
- tłumienia pionowe (c_{2z}) i poprzeczne (c_{2y}) oraz wężykowania (c_{jaw}) na drugim stopniu usprężynowania.

Przyjęte w badaniach zmiany parametrów sztywności miały na celu uchronienie sprężyn przed zniszczeniem (zgniatanie się zwojów).

Badania przejazdu modelu po torze z nierównościami ciągłymi prowadzone były dla sześciu różnych prędkości ruchu (120 km/h, 140 km/h, 160 km/h, 180 km/h, 200 km/h i 250 km/h).

4. WYNIKI OBLICZEŃ

W wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych przejazdów po założonych odcinkach toru otrzymano zależności sił pionowej i poprzecznej, działających na koło kolejowe, od czasu. W celu dokonania oceny wpływu parametrów konstrukcyjnych modelu wagonu na siły działające na koło w czasie ruchu po torze z zamodelowanymi nierównościami ciągłymi, do analizy przyjęto wartość średnią z pięciu wartości maksymalnych siły (pionowej lub poprzecznej), odczytanych z otrzymanych wykresów. Otrzymane wyniki, dotyczące wielkości sił poprzecznych i pionowych, działających na koło kolejowe, zawarto w [11].

Wyznaczone w ten sposób wielkości sił działających na koło pozwoliły oszacować rzeczywiste wartości współczynnika dynamicznego (wyznaczanego na podstawie równania (1)). Przykładowe wyniki dla różnych odcinków toru pokazano w tabelach 1, 2 i 3.

Tabela 1

Wartość współczynnika dynamicznego α_{dyn} określona dla ruchu po torze prostym

Prędkość [km/h]	Bez zmian	k1 + 30%	k1 – 30%	k2 + 30%	k2 – 30%	kplx zmn.	kply zw.	c1 + 30%	c1 – 30%
120	1,22	1,19	1,25	1,17	1,30	1,26	1,18	1,25	1,19
140	1,31	1,27	1,34	1,26	1,36	1,34	1,28	1,34	1,29
160	1,34	1,32	1,37	1,30	1,41	1,37	1,31	1,37	1,31
180	1,47	1,45	1,49	1,40	1,51	1,51	1,43	1,50	1,42
200	1,54	1,51	1,56	1,48	1,58	1,57	1,52	1,58	1,51
250	1,67	1,64	1,70	1,63	1,71	1,71	1,65	1,69	1,66

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2

Wartość współczynnika dynamicznego α_{dyn} określona dla ruchu po łuku toru o promieniu 1500 m

Prędkość [km/h]	Bez zmian	k1 + 30%	k1 – 30%	k2 + 30%	k2 – 30%	c1 + 30%	c1 – 30%
80	1,23	1,19	1,29	1,21	1,26	1,25	1,21
120	1,25	1,21	1,29	1,22	1,28	1,26	1,24
160	1,37	1,34	1,40	1,35	1,39	1,38	1,36
200	1,67	1,63	1,71	1,70	1,63	1,69	1,65
250	1,80	1,76	1,84	1,84	1,77	1,82	1,78

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 3

Współczynnik dynamiczny α_{dyn} dla przejazdu po zamodelowanych stykach szynowych

Prędkość [km/h]	Styk 1	Styk 2
60	2,16	2,46
70	2,45	2,90
80	2,70	3,26
120	3,47	4,27
160	3,65	4,34
200	3,46	3,87
250	3,16	3,45

Źródło: Opracowanie własne.

1. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań symulacyjnych stwierdzono, że:

- 1) współczynnik dynamiczny wykazuje zależność od parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych pojazdu szynowego oraz od parametrów toru.
- 2) maksymalne wartości współczynnika dynamicznego wyniosły:
 - Dla ruchu po torze prostym – 1,71.
 - Dla ruchu po łuku toru ($r = 1500$ m) – 1,84.
 - Dla przejazdu po styku szynowym – 4,34.

Bibliografia

1. Лазарян В.А.: Динамика вагонов. Издательство «Транспорт», Москва 1964.
2. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д.: Динамика вагона.. Издательство «Транспорт», Москва 1991, с.360.
3. Kisilowski J., Sowiński B.: Selected problems of dynamics of vertical vibrations performed by the wheelset – track. Archives of Transport, Vol. 2, Issue 3, Warszawa 1990, s. 211-220.
4. Liang B., Zhu D., Cai Y.: Dynamic analysis of the vehicle – subgrade model of a vertical coupled system. Journal of Sound and Vibration, 2001, No. 245 (1), p. 79-92.
5. Śładkowski A., Wojdyła T.: Simplified model of vertical vibrations for passenger car during its moving on irregular track. Scientific proceedings of Riga Technical University, Riga 2003, p. 28-36.
6. Śładkowski A., Margielewicz J., Wojdyła T.: Influence of vertical dynamic of a coach on wheel pair loading. V Międzynarodowa Konferencja Naukowa Krajów Europy Środkowej i Wschodniej „Kolejowe Zestawy Kołowe”, Katowice 2002.
7. Войдыла Т.: Динамический анализ движения пассажирского вагона по криволинейному пути при помощи программы ADAMS. III Научно – Техническая Конференция «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты», Санкт-Петербург, 2003, с. 125-126.
8. Uhl T., Chudzikiewicz A.: Analytical and experimental investigation of low floor tram dynamics. International Journal on Vehicle System Dynamics, vol. 2005, 25, s. 702 – 713.
9. Madej J., Matej J.: Badania dynamiki zespołu bimodalnego z przestawnymi zestawami kół podczas jazdy po łukach odwrotnych. „Pojazdy Szynowe” nr 4, 2002, s. 23-29.
10. Raport ERRI B 169.1. Entwurf zum UIC – merkblatt. 1998.
11. Wojdyła T.: Wpływ parametrów konstrukcyjnych wagonu kolejowego na naprężenia w kołach monoblokowych. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katowice 2007.
12. Wojdyła T.: Modelowanie dynamiki zestawów kołowych. Przegląd Komunikacyjny, nr 7 – 8, 2012
13. Nowak A., Sitarz M., Mańka A.: Modelling of the dynamics of the railway vehicle by use of the networks graphs. Visnik of the East Ukrainian National University, No. 6 (52), 2002, p. 57-61.
14. Nowak A., Sitarz M., Czapła K., Kaczmarek K., Wojdyła T.: Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych pojazdu szynowego na jego charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 39, Gliwice 1999, s. 95- 107.
15. Sitarz M., Wojdyła T., Mańka A.: Influence of design parameters of railway carriage on monoblock wheel stresses. XV Międzynarodowy Kongres „Kolejowe Zestawy Kołowe” Praga 2007 (wydanie na CD – 14 stron).