

Łukasz FARBANIEC, Mirosław MRZYGLÓD
Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Szynowych

BADANIA SYMULACYJNE DYNAMIKI POJAZDÓW SZYNOWYCH PODLEGAJĄCYCH MODERNIZACJI

Słowa kluczowe

Analiza dynamiczna MBS, parametryzacja konstrukcji, modernizacja pojazdów szynowych.

Streszczenie

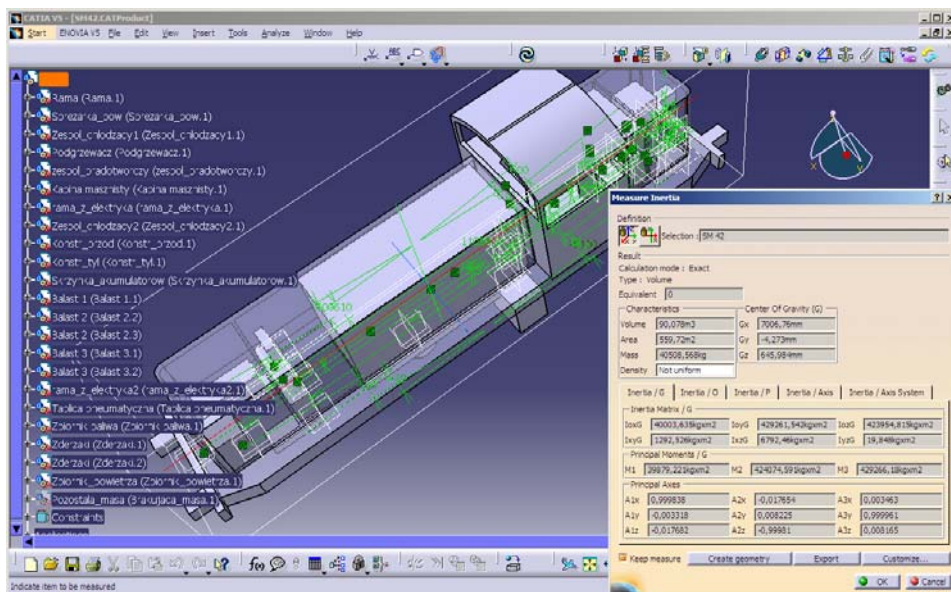
Trwałość i bezpieczeństwo jest istotną kwestią dla pojazdów podlegających modernizacji. Do przeprowadzania analizy trwałości zmęczeniowej niezbędne jest dokładne przebadanie charakterystyki dynamicznej pojazdu przed i po modernizacji. W artykule na przykładzie konstrukcji lokomotywy manewrowej przedstawiono propozycje metodyki badań symulacyjnych dynamiki pojazdów szynowych podlegających modernizacji. Procedura badawcza obejmuje wykorzystanie parametryzacji modelu CAD 3D i MBS konstrukcji pojazdu, co umożliwia równoległą analizę dynamiki dla konstrukcji przed i po modernizacji. Dane z modelu CAD są przenoszone do modelu MBS, gdzie dodatkowo uwzględnia się rzeczywisty profil nierówności toru. Wyniki analizy MBS w postaci przebiegów sił dla obu typów konstrukcji mogą zostać wykorzystane do dalszych badań prototypowych. Zastosowanie zaproponowanej metodyki umożliwia szybką i efektywną analizę wpływu zmian konstrukcyjnych na dynamikę i trwałość pojazdu szynowego.

Wprowadzenie

Badania symulacyjne dynamiki pojazdu szynowego są ważną dziedziną nauki rozwijaną od dłuższego czasu. Mają one szczególne znaczenie z uwagi na zapewnienie bezpieczeństwa i komfortu podróżnym [1–4]. Analiza dynamiczna Multi-Body Simulation (MBS) pojazdów szynowych jest obecnie powszechnie stosowana przy procesie testowania nowo projektowanych konstrukcji. Pozwala ona na uzyskanie informacji na temat sił, prędkości i przyśpieszeń działających w poszczególnych podzespołach oraz zachowania się obiektów w określonych stanach dynamicznych. Specjalistyczne programy takie jak MSC.ADAMS/RAIL, VI-RAIL, VAMPIRE czy UM Loco pozwalają uzyskiwać wyniki o bardzo dobrej zgodności z testami fizycznymi [1, 4, 5]. W przypadku pojazdów, które są już użytkowane od kilkudziesięciu lat i podlegają głębszej modernizacji konieczne jest zastosowanie procedur sprawdzających konstrukcje. Powinny one uwzględniać przebadanie konstrukcji w stanie przed i po modernizacji. Jest to szczególnie wskazane przy modernizacji lokomotyw spalinowych. Modernizacja ta zwykle obejmuje wymianę silnika na nowy o znacznie mniejszej masie, co pociąga za sobą konieczność zmiany balastowania pojazdu [6]. Zmiany te mogą wpływać znacząco na dynamikę i trwałość konstrukcji pojazdu. W artykule przedstawiono propozycje nieskomplikowanej i efektywnej metodyki badań dynamicznych MBS przeznaczonych dla modernizowanych pojazdów. Procedurę zilustrowano przykładem modernizowanej konstrukcji lokomotywy manewrowej SM42 [6, 7].

1. Etap I: parametryczny model CAD 3D

Pierwszym etapem procedury badań dynamicznych pojazdu jest zbudowanie uproszczonego, parametrycznego modelu CAD 3D konstrukcji. Parametryczny model przykładowej konstrukcji wykonano w programie CATIA V5 [8] (rys. 1). W modelu w sposób parametryczny zapisano rozkłady mas na ostoi lokomotywy. Poszczególne podzespoły przedstawiono w postaci blozków o zadanej masie i umieszczonych w przybliżeniu w miejscach ich rzeczywistego położenia. Dzięki temu możliwe było wykonanie kompletnego złożenia konstrukcji które posłuży do obliczenia masowych momentów bezwładności i znalezienia środka ciężkości nadwozia lokomotywy (rys. 1). W analogiczny sposób uzyskano informacje o konstrukcji wózków typu 1LN zastosowanych w pojeździe szynowym. Dzięki parametryzacji modelu CAD możliwa jest szybka modyfikacja rozlokowania mas podzespołów dla lokomotywy przed i po modernizacji. Momenty bezwładności w postaci macierzowej zostały zapisane dla dwóch typów konstrukcji i przygotowane do zaimplementowania do programu MSC.ADAMS/RAIL [9].



Rys. 1. Parametryczny model CAD 3D nadwozia lokomotywy SM42 w programie CATIA V5; Wyniki pomiaru momentów bezwładności dla wersji modelu po modernizacji

2. Etap II: parametryczny model MBS

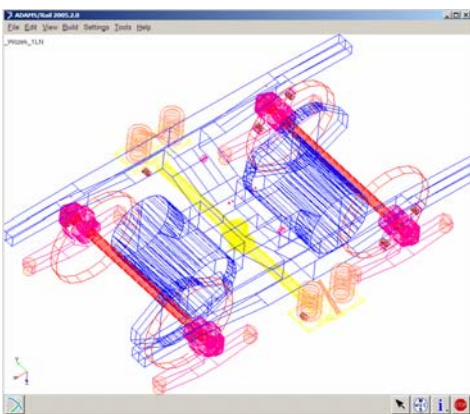
Jako drugi etap badań przewidziano przygotowanie parametrycznego modelu MBS pojazdu. Model ten będzie użyty do symulacji dynamiki pojazdu przed i po modernizacji. W programie MBS MSC.ADAMS/Rail model parametryczny pojazdu szynowego budowany jest na zasadzie łączenia podsystemów [9]. Przykładowy model pojazdu szynowego lokomotywy SM42 składał się z trzech podsystemów: nadwozia oraz przedniego i tylnego wózka. Główne części modelu zostały stworzone w trzech krokach. Krok pierwszy polegał na zdefiniowaniu lokalizacji punktów określających położenie części. Następnie stworzono rzeczywistą część na bazie określonych punktów wraz ze zdefiniowanymi masowymi momentami bezwładności. Ostatnim krokiem było dodanie geometrii części. Dla każdego podsystemu zaprojektowano nowe szablony, które powstały na bazie dokumentacji technicznej pojazdu, charakterystyki techniczno-eksploatacyjnej pojazdu oraz informacji uzyskanych na I etapie modelowania CAD.

Do stworzenia modelu MBS lokomotywy przyjęto następujące założenia i uproszczenia:

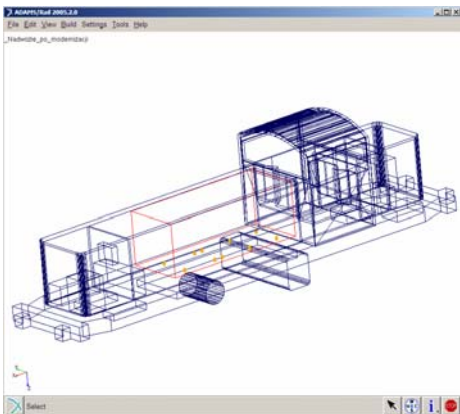
- ostoja spoczywa na dwóch wózkach zwrotnych z ograniczoną możliwością obrotu dookoła osi czopów skrzętu;

- masa ostoi jest przenoszona przez 4 zespoły sprężyn śrubowych i podkładek gumowych na każdy wózek, a rama wózka opiera się na zestawach kołowych w czterech punktach;
- każdy wózek składa się z dwóch zestawów kołowych napędzanych silnikami trakcyjnymi zawieszonymi sprężyscie na ramie;
- usprężynowanie ramy wózka względem maźnic jest realizowane za pomocą resorów piórowych;
- usprężynowanie między ostoją a ramą wózka wykonane jest ze sprężyn spiralnych i podkładek gumowych (rys. 2a);
- model nadwozia do celów symulacyjnych został ograniczony do dwóch podzespołów: konstrukcji nadwozia oraz zespołu prądotwórczego;
- zespół prądotwórczy połączony jest z konstrukcją ostoi za pomocą amortyzatorów tłumiących drgania powstałe podczas pracy silnika (rys. 2b);
- siły poprzeczne z ostoi lokomotywy na tor przenoszą się przez ostoję, sprężyny śrubowe, podkładki gumowe, belkę skrętową, czop skrętowy, ramę wózka, maźnice i zestawy kołowe;
- tłumienie wychyleń poprzecznych realizowane jest poprzez amortyzator hydrauliczny między ostoją a belką skrętową, wychylenia te są ograniczone odbijakami między ostoją a ramą;
- przesuw poprzeczny zestawów kołowych względem ramy wózka jest ograniczony zderzakami przy maźnicach;
- siły podłużne z toru kolejowego na ostoję przenoszone są przez zestawy kołowe, maźnice, prowadnice typu Alstom, ramę wózka, czop skrętowy, belkę skrętową oraz ciągiła trakcyjne.

a)

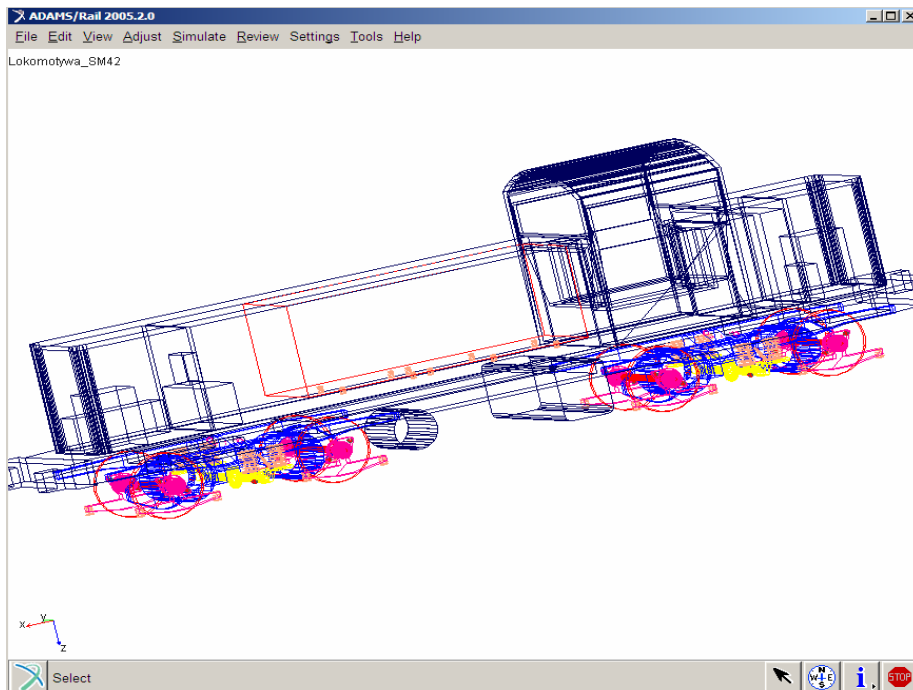


b)



Rys. 2. Model parametryczny wózka ILN (a); Model parametryczny nadwozia lokomotywy (b)

Po połączeniu nadwozia z wózkami trakcyjnymi powstał kompletny model parametryczny. Do symulacji dynamicznej przygotowano wersje modelu konstrukcji przed i po modernizacji (rys. 3).

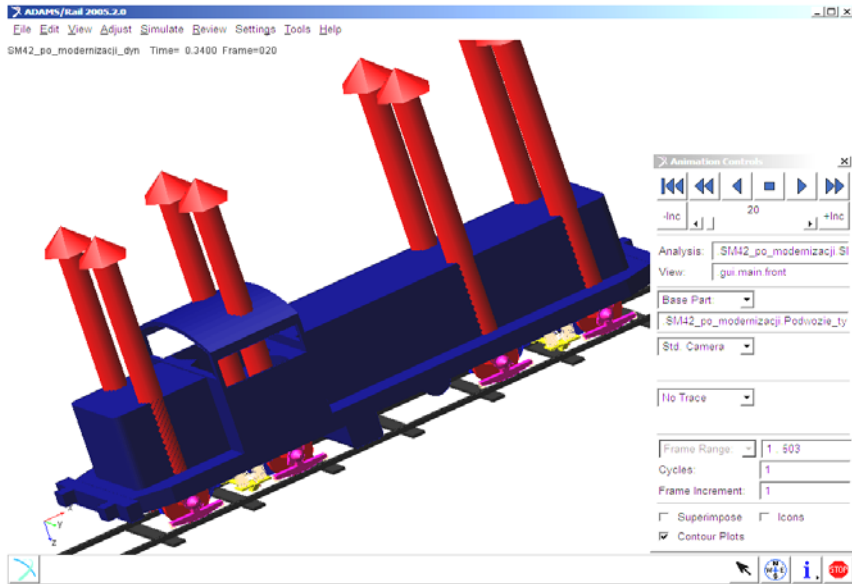


Rys. 3. Kompletny model parametryczny pojazdu szynowego

3. Etap III: analiza dynamiczna

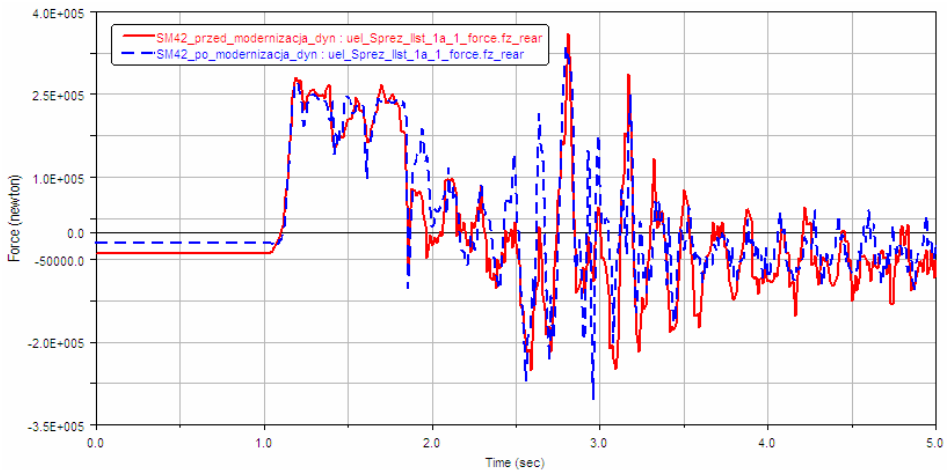
Ostatni etap proponowanej metodyki analizy dynamicznej MBS obejmuje badanie jazdy po torze dla dwóch typów konstrukcji pojazdu. W trakcie badań dynamicznych przyjęto następujące założenia:

- prędkość poruszania się pojazdu szynowego jest identyczna dla pojazdu przed modernizacją, jak i po modernizacji;
- do symulacji użyto tego samego toru jazdy;
- do symulacji zastosowano tę samą charakterystykę opisującą koła;
- czas i liczba kroków symulacji jest taka sama dla obu przypadków;
- w badaniach symulacji został wykorzystany rzeczywisty profil nierówności toru;
- przeprowadzone badania uwzględniają jazdę po odcinku prostym oraz po łuku w lewo i prawo.



Rys. 4. Badania dynamiczne pojazdu szynowego dla wersji modelu po modernizacji w programie MSC.ADAMS/Rail

W wyniku przeprowadzonych badań dla lokomotywy przed i po modernizacji uzyskano dane w postaci przebiegów sił, przemieszczeń, prędkości oraz przyspieszeń dla każdego elementu modelu MBS. Wyniki te można zestawiać i porównać w formie wykresów. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe przebiegi sił działających na ostoję dla konstrukcji przed i po modernizacji. Jak widać na wykresie, różnice w wartości sił są znaczące.



Rys. 5. Przebieg sił działających na jeden z elementów usprężynowania II stopnia

Otrzymane w wyniku symulacji przebiegi sił działających na ostoje lokomotywy mogą zostać użyte do dalszej analizy konstrukcji pojazdu. Dzięki uzyskaniu informacji o charakterystyce dynamicznej pojazdu przed i po modernizacji możliwe będzie prognozowanie trwałości zmęczeniowej konstrukcji pojazdu po modernizacji.

Wnioski

Analiza dynamiczna pojazdów szynowych podlegających modernizacji jest bardzo istotna z punktu widzenia zapewnienia trwałości i bezpieczeństwa konstrukcji. W artykule zaproponowano prostą i efektywną metodykę analizy dynamicznej pojazdów podlegających modernizacji. Zastosowanie parametryzacji modelu CAD oraz MBS pozwala znacznie skrócić proces przygotowawczego do symulacji. Dzięki dokładnemu modelowaniu momentów bezwładności zespołów pojazdu oraz zastosowaniu rzeczywistego profilu toru z dużą dokładnością można określić siły dynamiczne działające na najważniejsze podzespoły pojazdu szynowego. Użycie tej strategii badawczej pozwala uniknąć lub znacznie ograniczyć ilości kosztownych badań fizycznych. Modele parametryczne CAD i MBS zbudowane w trakcie badań mogą zostać ponownie wykorzystane do badania podobnych konstrukcji.

Bibliografia

1. Chudzikiewicz A., Simulation of Rail Vehicle Dynamics in MATLAB Environment, *Vehicle System Dynamics*, 33, 107–119, 2000.
2. Uhl T., Chudzikiewicz A., Analytical and experimental investigation of low floor tram dynamics, *Vehicle System Dynamics*, 37, 702–713, 2003.
3. Bogacz R., Dynamics of continuous systems subjected to traveling loads, *Applied Mechanics and Materials*, 9, 31–40, 2008.
4. Chudzikiewicz A., Opala M., Application of computer simulation methods for safety assessment of railway vehicle in example of freight cars, *Applied Mechanics and Materials*, 9, 61–69, 2008.
5. Mechanical Dynamics: ERRI Benchmark Results ADAMS/Rail 12.0, 2002.
6. Babeł M., Tufekci A.: Konstrukcja zmodernizowanej spalinowej lokomotywy manewrowej serii 6dg, XVIII Konferencja Naukowa – Pojazdy Szynowe, 2008.
7. Bolewski S., Kowalczyk E.: Lokomotywy spalinowe serii SM42 i SP42. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa, 1986.
8. Dassault Systems: CATIA Online Documentation V5R12, 2004.
9. MSC.Software: MSC.ADAMS/Rail 2005 Documentation, 2005.

Recenzent:

Andrzej CHUDZIKIEWICZ

Fatigue life cycle analysis algorithm for modernised railway vehicles

Keywords

Fatigue life cycle analysis, modernisation of railway vehicles, safety of railway vehicles.

Summary

In the paper, an algorithm of fatigue durability analysis of vehicles subjected modernisation was proposed. The proposed computational framework of durability analysis is based on the utilisation of a parametric FEM model. Utilisation of a common FE model makes calculations possible of the cumulative damage matrix of the full life cycle. The practical realisation of methodology was illustrated by the example of the modernisation of a shunter locomotive. The results obtained show the high effectiveness of the proposed methodology in assurance of the safety of modernised railway vehicles.