

# Badania Numeryczne Wpływu Współczynnika Tarcia w Resorze Wielopiórowym na Podstawowe Charakterystyki Zawieszenia

Wiesław Krason<sup>1,a)</sup> Zdzisław Hryciów<sup>2,b)</sup> and Józef Wysocki<sup>2,c)</sup>

(Use the Microsoft Word template style: *Paper Author*)

<sup>1</sup>*Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering,  
Department of Mechanics and Applied Computer Sciences*

<sup>2</sup>*Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute for Motor Vehicles and Transport*

<sup>a)</sup>Corresponding author: wieslaw.krason@wat.edu.pl

<sup>b)</sup> zdzislaw.hryciow@wat.edu.pl

<sup>c)</sup> jozef.wysocki@wat.edu.pl

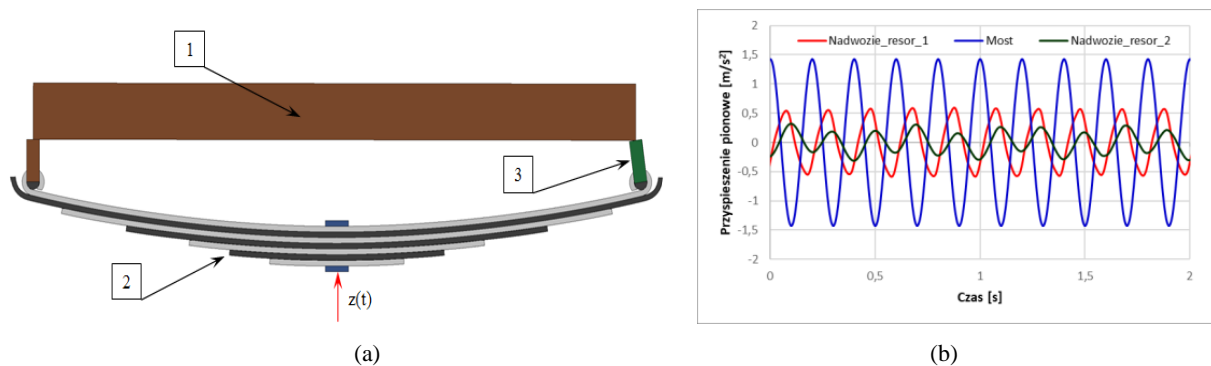
## WSTĘP

Szerokie zastosowanie w zawieszeniach zależnych samochodów ciężarowych i przyczep resorów wielopiórowych, powoduje skoncentrowanie wysiłku badawczego na określeniu charakterystyk sprężystych i tłumiących oraz ich wpływie na drgania i obciążenia dynamiczne jego podstawowych zespołów i układów (nadwozia, układu zawieszenia, nośnego) itp. Dużą popularność w analizie zjawisk fizycznych zachodzących w wybranych elementach, częściach i zespołach oraz całego pojazdu mają dyskretne modele drganiowe samochodu opisujące jego drgania pionowe [1]. Dla ułatwienia analizy drgań bardzo często wprowadza się szereg uproszczeń przy budowie modeli np., rozpatruje się małe drgania nadwozia i kół jezdnych, przyjmuje się punktowy i stały styk koła ogumionego z nawierzchnią, niezmienny współczynnik oporu toczenia, liniowość charakterystyk sprężystych i tłumiących z pominięciem istotnych źródeł tarcia w zawieszeniu pojazdu itp. Stwierdzono również, że dla dużej grupy rozwiązań konstrukcyjnych samochodów dwuosiowych, dosyć często spełniona jest zależność, że współczynnik rozkładu mas resorowanych ( $\varepsilon \approx 1$ ) jest bliski lub równy jedności. Według [2] współczynnik rozkładu mas resorowanych jest opisany zależnością  $\varepsilon = r / a * b$ , w której:  $r$  – promień bezwładności mas resorowanych samochodu,  $a$  ( $b$ ) – odległość środka masy resorowanej od osi przedniej (tylnej). Spełnienie powyższego warunku powoduje, że można analizować niezależnie zawieszenie przednie lub tylne. W obszarze zainteresowań autorów znalazła się problematyka badawcza tarcia między powierzchniami piór dla metalowych resorów wielopiórowych. Badania laboratoryjne zrealizowano na próbkach, dla warunków badań zbliżonych do warunków eksploatacyjnych pojazdów ciężarowych. Na podstawie wyników badań oszacowano wartości współczynników tarcia statycznego i kinetycznego z uwzględnieniem wpływu prędkości współpracujących powierzchni piór oraz wpływu ich stanu powierzchni. W ramach pracy zbudowano i zwalidowano modele numerycznych 3D fragmentu układu zawieszenia ze szczegółowym modelem bryłowym resoru wielopiórowego. W modelu zawieszenia odwzorowano masę ćwiartki nadwozia w postaci bryły sztywnej i wybrane podzespoły zawieszenia, w tym np. wieszak. Wymuszenie dynamiczne pochodzące od mikroprofilu nierówności drogowych przyłożono do wybranego węzła w modelu resoru.

## BADANIA MODELOWE

Analizując warunki pracy resoru wielopiórowego można jednoznacznie stwierdzić, że w trakcie jego eksploatacji zmieniają się warunki współpracy poszczególnych piór. W początkowym stanie pomiędzy piórami

znajduje się zazwyczaj warstwa smaru grafitowego, sukcesywnie usuwana w trakcie eksploatacji, następnie pojawia się warstwa tlenków a charakter pracy zbliża się do warunków tarcia suchego. W związku z powyższym w pracy podjęto próbę oszacowania wpływu współczynników tarcia statycznego i kinetycznego na wielkość rozpraszanej w resorze energii a także jakość układu wibroizolacji w trakcie ruchu pojazdu po nierównym podłożu. Analizę numeryczną MES wykonano przy wykorzystaniu modelu symulacyjnego złożonego z ćwiartki nadwozia samochodu odwzorowanego jako bryła sztywna (1 na rys. 1a), resoru wielopiórowego (2-rys. 1a) i elementów łączących – jarzma i wieszaka (3-rys. 1a). Analizowany resor składa się z siedmiu piór. Do budowy modelu użyto ośmiowęzłowych elementów bryłowych. Łącznie model numeryczny składa się z około 12 tysięcy elementów. Pomiędzy piórami zdefiniowano kontakt uwzględniający siły tarcia.



**Rysunek 1.** Model 3D i wybrane parametry drgań zawieszenia: a). Model obiektu badań, b). Przyspieszenia w zawieszeniu

Obliczenia przeprowadzono w dwóch etapach. Ze względu na różne promienie poszczególnych piór w początkowej fazie konieczne jest ściśnięcie piór w środkowej ich części. Zapewnia to wprowadzenie naprężeń wstępnych i pojawienie się sił między piórami (generującymi m.in. siły tarcia). W drugim etapie określono zachowanie resoru i bryły nadwozia w trakcie jazdy po nierównym podłożu. Odwzorowano je poprzez przyłożenie do środkowej części resoru wymuszenia kinematycznego  $z(t) = z_0 \cdot (1 - \cos(2\pi ft))$ . Wartości amplitudy  $z_0$  i częstotliwości  $f$  określono na podstawie gęstości widmowych  $G(\Omega)$  nierówności typowych dróg przenoszonych przez elastyczne ogumienie na resor. Obliczenia przeprowadzono dla trzech wariantów współczynników tarcia, odpowiadających możliwym skojarzeniom / stanom powierzchni piór resoru – czystej i suchej powierzchni, powierzchni pokrytej smarem grafitowym oraz pokrytej cienką warstwą tlenków.

W wyniku obliczeń określono między innymi naprężenia w poszczególnych piórach, ugięcie resoru, wartości sił oddziaływań pomiędzy poszczególnymi piórami a także wartości poszczególnych energii w układzie (w tym energię sił tarcia). Jakość układu wibroizolacji określono na podstawie współczynnika przenoszenia drgań stanowiących stosunek wartości skutecznych przyspieszenia drgań pionowych bryły oraz przyspieszenia działającego wymuszenia (mostu napędowego). Na rys. 1b przedstawiono przyspieszenia pionowe środkowego fragmentu resoru (tym samym mostu napędowego pojazdu), które stanowi wymuszenie dla układu oraz przyspieszenia pionowe bryły nadwozia dla dwóch stanów powierzchni piór resorów. Pierwszy z nich uzyskano dla powierzchni stalowej czystej suchej, natomiast drugi dla powierzchni piór pokrytych smarem grafitowym. Dla prezentowanego wariantu, wprowadzenie smaru spowodowało zmniejszenie wartości skutecznej bryły nadwozia o około 2,4 natomiast współczynnik przenoszenia drgań zmniejszył wartość z 0,393 do 0,166.

Analiza wyników przyspieszeń bryły nadwozia wskazuje również na duży wpływ stanu powierzchni piór resorów na komfort jazdy samochodem. Zaniedbania eksploatacyjne mogą kilkukrotnie zwiększyć wartości działających przyspieszeń.

**Finansowane ze środków MNiSW, Praca Badawcza Statutowa nr 23-937**

## LITERATURA

1. Z. Zhou, W. Guo, T. Shen, F. Wang, J. Ju, H. Wang and E. Song, "Research and Application on Dynamic Stiffness of Leaf Spring", SAE-China, FISITA 2012 World Automotive Congress, Vol. 10, pp.105-119.
2. T. Kasprzyk, L. Prochowski, Teoria samochodu. Obciążenia dynamiczne zawieszzeń. WKiŁ, Warszawa 1990.