

## Diagnostyczne badania symulacyjne układu nośnego pojazdu samochodowego

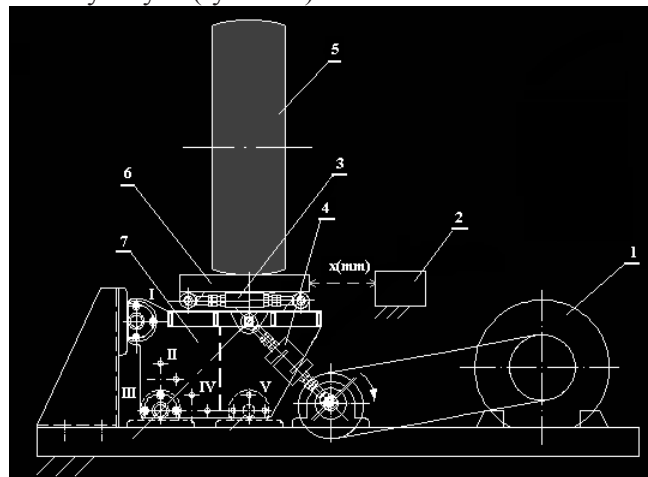
RADOSŁAW MICHALAK, ROBERT PIETRUSZEWSKI,  
ZBIGNIEW PAWELSKI

Politechnika Łódzka

W artykule przedstawiono model fizyczny urządzenia diagnostycznego do badań niesprawności w układach nośnych pojazdów samochodowych wraz z obiektem badań. Ponadto pokazano wyniki komputerowych badań symulacyjnych, przeprowadzonych za pomocą programu Working Model 3D dla jednego typu wymuszeń platformy wibracyjnej. Wyniki te porównano z wynikami badań doświadczalnych. Na tej podstawie stwierdzono przydatność opracowanego modelu do dalszych prac związanych z zagadnieniem wykrywania niesprawności w zawieszeniach pojazdów samochodowych.

### 1. Wprowadzenie

W Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej prowadzone są badania teoretyczne oraz doświadczalne dotyczące diagnostyki układów nośnych stosowanych w pojazdach samochodowych. W ramach tych prac zaprojektowano i zbudowano diagnostyczne stanowisko badawcze [1]. Poniżej przedstawiono zasadnicze elementy prototypowego urządzenia diagnostycznego oraz typy wymuszeń kinematycznych (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Schemat uniwersalnej platformy wibracyjnej

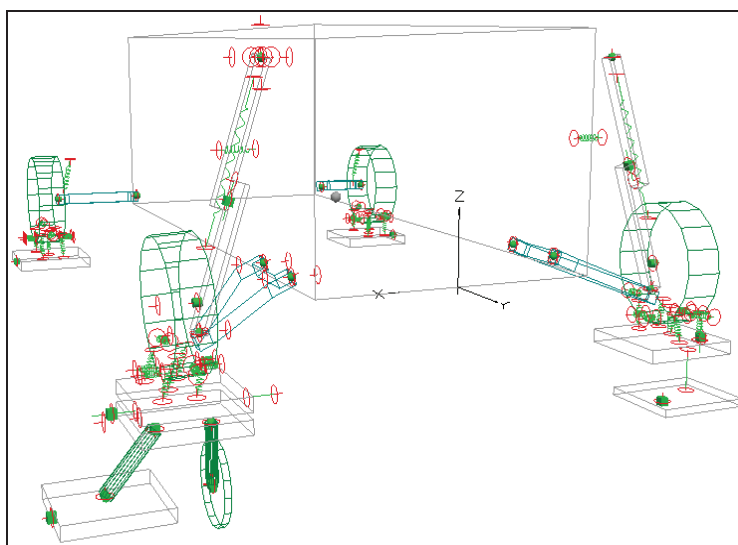
gdzie:

- 1- silnik elektryczny o regulowanej prędkości obrotowej za pomocą falownika,
- 1- electric engine with changing rotation speed,
- 2- czujnik laserowy do pomiaru chwilowych przemieszczeń platformy,
- 2- laser sensor used to measure the temporary changing of places of the vibratory platform,
- 3- czujnik siły do pomiaru chwilowych sił poprzecznych,
- 3- force sensor used to measure the temporary cross forces,
- 4- czujnik siły do pomiaru chwilowych sił „pionowych”,
- 4- force sensor used to measure the temporary ‘vertical’ forces,
- 5- koło jezdne pojazdu badanego,
- 5- wheel of the research vehicle,
- 6- platforma ruchoma górna,
- 6- moving upper research platform,
- 7- platforma ruchoma dolna,
- 7- moving lower research platform,
- I** - punkt obrotu platformy zapewniający drgania „pionowe” koła jezdnego,
- I** - the rotating point of the research platform providing the vertical vibrations of the wheel,
- II, III, IV**- punkt obrotu platformy zapewniający jednocześnie drgania pionowe oraz poziome koła jezdnego,
- II, III, IV** – the rotating point of the research platform providing in the same time the vertical vibrations also horizontal vibrations of the wheel,
- V**- punkt obrotu platformy zapewniający drgania „poziome” koła jezdnego,
- V**- the rotating point of the research platform providing the horizontal vibrations of the wheel.

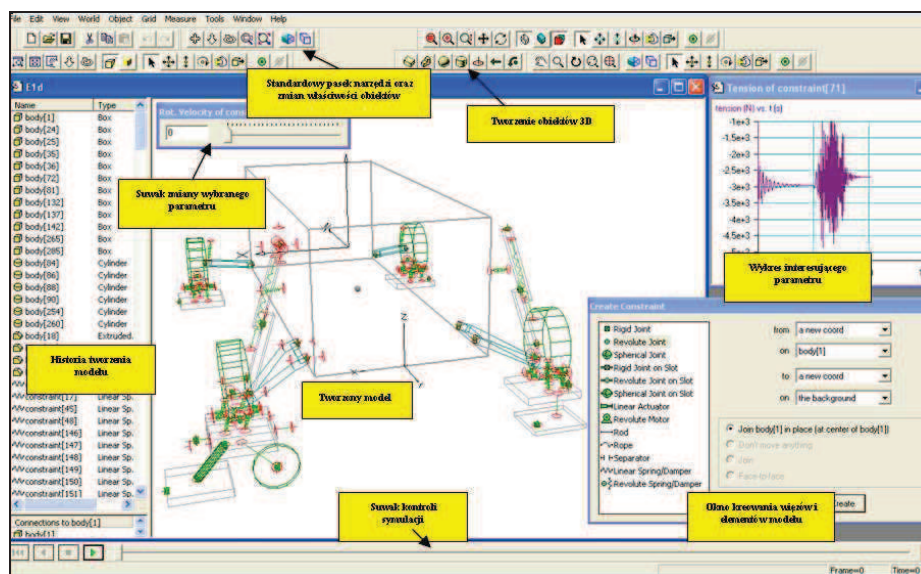


Rys. 2. Platforma wibracyjna stanowiska badawczego

Konceptję modelu symulacyjnego urządzenia diagnostycznego wraz z obiektem badań przedstawiono na rysunku 3, model ten posłużył do przeprowadzenia symulacyjnych badań komputerowych z wykorzystaniem programu Working Model 3D (rys. 4).



Rys. 3. Model symulacyjny urządzenia diagnostycznego z obiektem badań – Working Model 3D



Rys. 4. Okno programu Working Model 3D

W przedstawionym modelu symulacyjnym wzbudnik drgań odwzorowuje kinematykę wzbudnika rzeczywistego zastosowanego na stanowisku laboratoryjnym. W badaniach symulacyjnych zastosowano typ wymuszenia mieszany (typ wymuszenia **III** równoważny z wymuszeniem typu **III** z rys. 1). Wymuszenie to okazało się wymuszeniem odpowiednim (jednym z trzech) do badań stanu technicznego zawieszenia na proponowanym stanowisku diagnostycznym [2].

Podczas prowadzonych badań w programie Working Model 3D zostały zasymulowane cztery przypadki stanu technicznego zawieszenia oznaczone jako:

- **wzorcowe** - zawieszenie przednie badanego pojazdu, w którym występuje: amortyzator w stanie technicznym dobrym, nowy wahacz wraz z dwoma tulejami stalowo-gumowymi oraz przegubem kulistym,
- **z luzem 1mm w prz. kulistym** - zawieszenie przednie badanego pojazdu, w którym występuje: amortyzator w stanie technicznym dobrym, nowy wahacz wraz z dwoma tulejami stalowo gumowymi, przegub kulisty z zasymulowanym luzem 1mm,
- **z uszkodzonymi tulejami stalowo gumowymi** - zawieszenie przednie badanego pojazdu, w którym występuje: amortyzator w stanie technicznym dobrym, nowy wahacz z uszkodzonymi (rozwulkanizowanymi) tulejami stalowo-gumowymi,
- **z luzem w łożysku kolumny** - zawieszenie przednie badanego pojazdu, w którym występuje: amortyzator w stanie technicznym dobrym, nowy wahacz wraz z dwoma tulejami stalowo-gumowymi oraz przegubem kulistym, luz w łożysku głównym kolumny MacPhersona,

Do opracowania wyników z badań symulacyjnych oraz rzeczywistych użyto wskaźnika [1,2,3] oszacowanego z średniej w cyklu wartości siły bocznej na platformie –  $\acute{s}rF_y$ :

$$W_y = \frac{\acute{s}rF_y}{F_{z0}} \quad (1)$$

gdzie:  $W_y$  - wskaźnik sztywności poprzecznej zawieszenia,  
 $F_{z0}$  - statyczne obciążenie pionowe danej osi pojazdu,  
 $\acute{s}rF_y$  - średnia w cyklu wartość siły bocznej na platformie wibracyjnej wyznaczona z zależności:

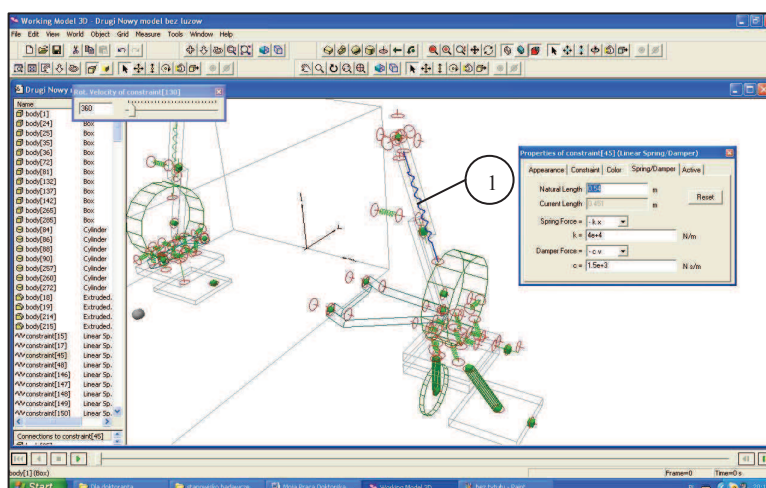
$$\acute{s}rF_y = \Sigma abs(\acute{s}rF_y) \quad (2)$$

## 2. Model symulacyjny układu diagnostycznego

### 2.1. Zawieszenie przednie

W modelu fizycznym obiektu badawczego przyjęto geometrię zawieszenia przedniego (rys. 5) zgodną z geometrią pojazdu rzeczywistego (Citroen AX). Charakteryzuje się ono następującymi parametrami: tłumienie 1500 [N·s/m], sprężystość 40000 [N/m]. Podczas prowadzonych badań istnieje możliwość zmiany wartości tych parametrów w zależności od aktualnie wymaganego stanu technicznego

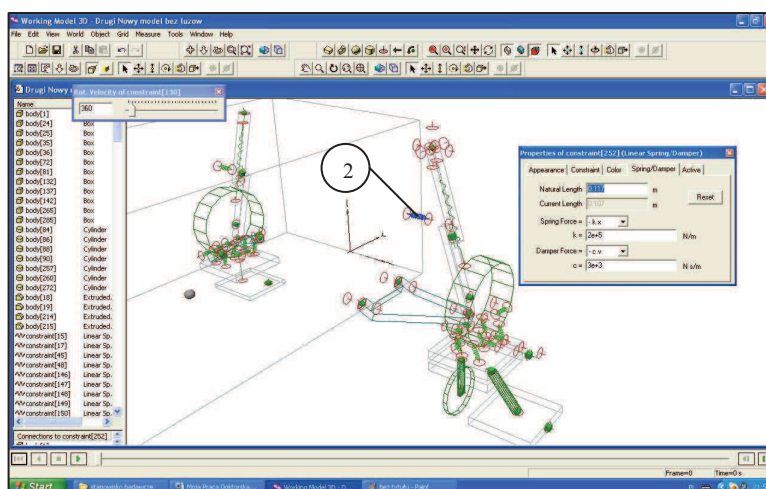
zawieszenia. W celu uproszczenia modelu zawieszenia przyjęto charakterystykę liniową.



Rys. 5. Working Model 3D - zawieszenie przednie (typ Macphersona)

## 2.2. Układ kierowniczy

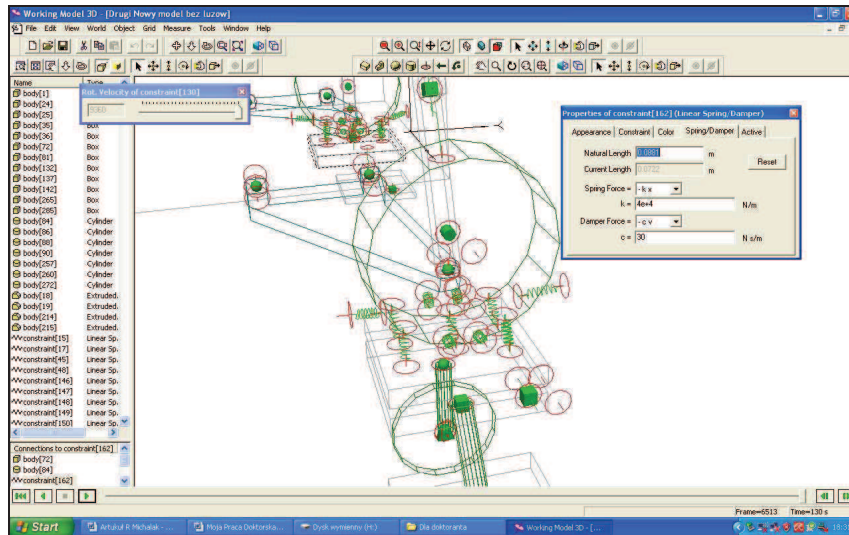
W modelu symulacyjnym układ kierowniczy (rys. 6) został zastąpiony elementem sprężystym (2) o następujących parametrach: tłumienie 3000 [N·s/m] oraz sprężystość 200000 [N/m]. Wartości te zostały dobrane doświadczalnie, tak aby układ kierowniczy modelu symulacyjnego zachowywał się tak jak w obiekcie rzeczywistym.



Rys. 6. Working Model 3D - zawieszenie przednie

### 2.3. Model koła ogumionego

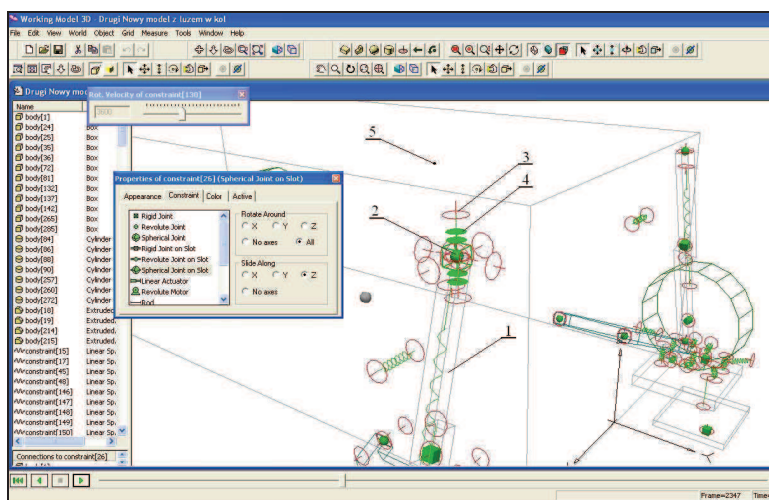
W modelu symulacyjnym koło ogumione (rys. 7) zostało zamodelowane tak, aby sprężystość oraz tłumienność poprzeczna i promieniowa były zgodne z wartościami występującymi w literaturze [4]. Parametry te zachowane są dzięki zastosowaniu elementów sprężystych (2) w odpowiedniej konfiguracji.



Rys. 7. Working Model 3D – koło ogumione

### 2.4. Modelowanie luzu w miejscu połączenia kolumny Macphersona z nadwoziem

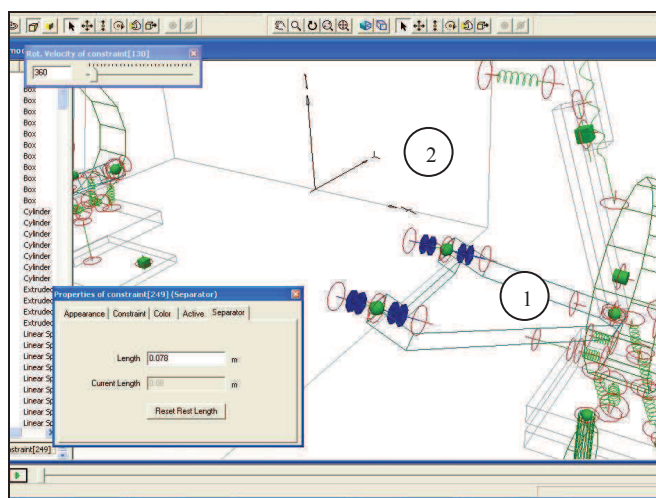
Symulowanie luzów w układzie zawieszenia (rys. 8) zostało zrealizowane za pomocą elementu (4 – *separator*). Kolumna Macphersona (1) jest połączona z nadwoziem (5) przegubem kulistym (2 – *spherical joint on slot*). Kolumna ta dzięki połączeniu przegubowym może jedynie wykonywać względem nadwozia ruch wzdłużny w kierunku pionowym (w kierunku osi z) oraz obracać się względem wszystkich trzech osi (opis stopni swobody dla przegubu (2) (rys.8)). Przegub kulisty (2) kolumny Macphersona przytwierdzony jest do nadwozia elementami (3 – *coord*). W łańcuchu kinematycznym pomiędzy elementem (3), a przegubem kulistym (2) znajduje się element (4) który ogranicza ruch wzdłużny kolumny w kierunku pionowym (w kierunku osi z). Dzięki elementowi (4) możliwe jest symulowanie luzu. Przy tak zamodelowanym połączeniu kolumny z nadwoziem możliwa jest symulacja luzu w kierunku osi „z” (luz pionowy).



Rys. 8. Working Model 3D – uszkodzenie (luz pionowy) w zawieszeniu przednim

### 2.5. Modelowanie luzu w miejscu połączenia wahacza z nadwoziem

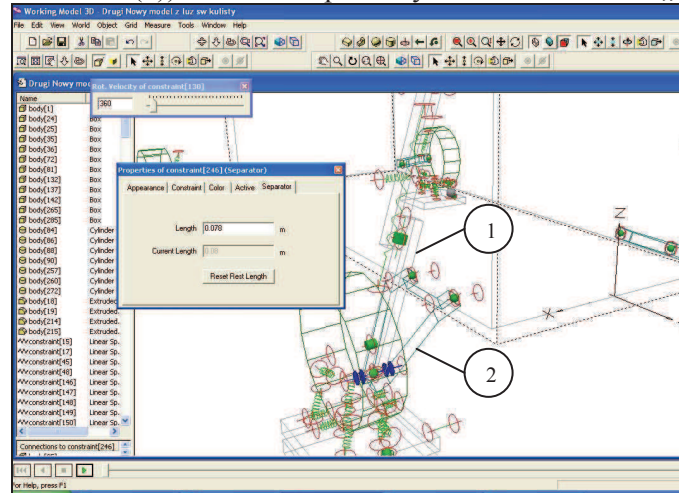
Na rysunku 9 przedstawione są luzy symulujące uszkodzenie tulei stalowo - gumowych. Luzy te zostały zamodelowane analogicznie jak dla przypadku z rysunku 8, przy czym luz ten (luz wahacza (1) względem nadwozia (2)) jest luzem poziomym – w kierunku osi „x”.



Rys. 9. Working Model 3D - uszkodzenie (luz poprzeczny) w zawieszeniu przednim

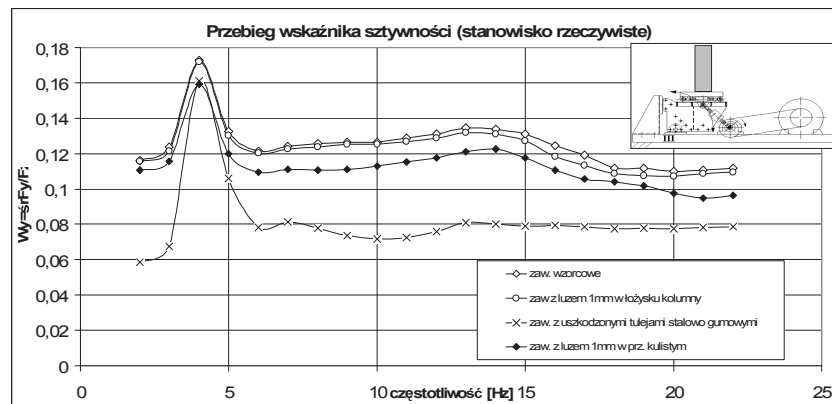
### 2.6. Modelowanie luzu w miejscu połączenia wahacza z piastą koła

Na rysunku 10 przedstawiony jest luz symulujący uszkodzenie przegubu kulistego łączącego wahacz z częścią kolumny Macphersona, która jest jednocześnie piastą koła modelu pojazdu badanego. Luz ten jest w analogiczny sposób zamodelowany jak powyższe luzy, przy czym jest on luzem (luz pomiędzy częścią kolumny (1) będącą piastą koła, a wahaczem (2)) w kierunku poziomym – w kierunku osi „x”.



Rys.10. Working Model 3D - uszkodzenie (luz poprzeczny) w zawieszeniu przednim

### 3. Wyniki badań teoretycznych oraz doświadczalnych



Rys. 11. Przebieg charakterystyk wskaźnika sztywności poprzecznej zawieszenia ( $W_y = \delta r F_y / F_{z0}$ ) dla różnych przypadków uszkodzeń w zawieszeniu przy wymuszeniu poprzeczno-pionowym (punkt obrotu III platformy (rys.1))



Rys. 12. Przebieg charakterystyk wskaźnika sztywności poprzecznej zawieszenia ( $W_y = \dot{\sigma}F_y/F_{z0}$ ) dla różnych przypadków uszkodzeń w zawieszeniu przy wymuszeniu poprzecznopionowym (punkt obrotu **III** platformy (rys.1))

Fig. 12. The course of profiles of the coefficient transverse stiffness of suspension ( $W_y = \dot{\sigma}F_y/F_{z0}$ ) for different cases of damages in suspension near cross-vertical (the rotation point **III** of the platform (fig.1))

Na rysunku 11 przedstawiono wyniki badań stanu technicznego układu zawieszenia (wykrywanie uszkodzeń w zawieszeniu z wykorzystaniem wskaźnika  $W_y$ ) dla stanowiska i układu zawieszenia rzeczywistego, natomiast na rysunku 12 wyniki symulacji komputerowej dla tych samych warunków. Stwierdzono, że dla różnych niesprawności układu nośnego istnieje analogia co do charakteru i wartości przebiegów wskaźnika  $W_y$  w funkcji częstotliwości.

#### 4. Podsumowanie

W przedstawionych badaniach symulacyjnych przy występujących luzach dla współpracujących par materiałów zostały wprowadzone odpowiednie wartości współczynnika restytucji, co znacząco wpływa na wyniki badań przebiegów wskaźnika  $W_y$ .

Na podstawie analizy przebiegów wskaźnika  $W_y$  dla obiektu rzeczywistego oraz przedstawionego prostego modelu symulacyjnego zaobserwowano zgodność uzyskiwanych wyników badań. Charakter przebiegów wskaźnika sztywności oraz poziom ich wartości potwierdza poprawność wykonanego modelu fizycznego, a tym samym przydatność tego modelu w dalszej pracy związanej z zagadnieniem wykrywania luzów w różnych typach zawieszonych pojazdów samochodowych.

W celu uzyskania większej zgodności wyników badań przebiegów wskaźnika  $W_y$  prowadzone są dalsze badania symulacyjne z wykorzystaniem dokładniejszego modelu koła ogumionego oraz zawieszenia z charakterystyką nieliniową.

#### Literatura

- [1] Pawelski Z., Michalak R.: *Stanowisko do badań sztywności poprzecznej układu nośnego pojazdu samochodowego*. Archiwum Motoryzacji. 3-4/2008. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom.
- [2] Pawelski Z., Michalak R.: *Wyniki badań na stanowisku do diagnostyki układu nośnego pojazdu samochodowego*. Archiwum Motoryzacji. 3/2009. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom.
- [3] Pawelski Z., Michalak R.: *Badanie amortyzatorów na uniwersalnym stanowisku do diagnostyki układu nośnego pojazdu samochodowego*. Archiwum Motoryzacji. 4/2009. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom.
- [4] Andrzejewski R.: *Stabilność ruchu pojazdów kołowych*. WNT, Warszawa 1997.