

Stanowisko do badań sztywności poprzecznej układu nośnego pojazdu samochodowego

ZBIGNIEW PAWELSKI, RADOSŁAW MICHALAK

Politechnika Łódzka

Obecnie stosowane urządzenia oraz metody diagnostyki układu nośnego do badań uszkodzeń węzłów nie umożliwiają ich obiektywnej oceny stanu technicznego, wykazują jedynie cykliczne przemieszczenia elementów węzłów, a ocena ta odbywa się na zasadzie obserwacji tych przemieszczeń przez diagnostę. Proponowane stanowisko do badań sztywności poprzecznej układu nośnego pojazdu samochodowego służyć ma opracowaniu systemu diagnostycznego do badań stanu technicznego tego układu, a mianowicie wykrywaniu niesprawności (luzów) poszczególnych węzłów układu nośnego. Zasada działania stanowiska będzie opierać się na analizie sygnałów wyjściowych przy wzbudzeniu drgań o stałej amplitudzie sygnału harmonicznego i zmiennej częstotliwości za pomocą wzbudnika oddziałującego bezpośrednio na koło jezdne. W stosunku do istniejących obecnie metod diagnozowania, proponowane stanowisko oraz metoda będzie umożliwiały dokonywanie obiektywnych badań stanu technicznego układu nośnego.

1. Wprowadzenie

Badania diagnostyczne pojazdów samochodowych, w szczególności badania kontrolne okresowe (obowiązkowe), prowadzi się na tzw. liniach diagnostycznych. Badania kontrolne dotyczące podwozi prowadzone są na następujących stanowiskach:

- na stanowisku do oceny ustawienia kół jezdnych,
- na stanowiskach do pomiaru skuteczności hamowania,
- na stanowisku do badania amortyzatorów,
- na stanowisku do sprawdzania luzów w układzie zawieszenia i układzie kierowniczym.

Badania na trzech pierwszych wymienionych stanowiskach są badaniami obiektywnymi, gdyż dokonuje się ich z wykorzystaniem systemów pomiarowych. Badania „luzów” są niestety badaniami subiektywnymi. Dokonuje się ich z użyciem tzw. „szarpaków”; urządzeń do wymuszenia szarpnięć kołami jezdny. Nie dokonuje się tu jednak żadnych pomiarów, a jedynie diagnosta obserwujący ruchy elementów zawieszenia ocenia, czy luzy w przegubach są dopuszczalne (według niego). Taka sytuacja w obecnym stanie techniki budzić musi poważne wątpliwości.

Stanowisko zbudowane w Instytucie Pojazdów, Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Łódzkiej, wykorzystane do opracowania nowej metody diagnozowania układu nośnego, jest stanowiskiem diagnostycznym do pomiaru ogólnej sztywności

poprzecznej zawieszenia. Badanie to będzie stanowić istotne uzupełnienie dotychczasowych badań stanu technicznego pojazdu.

Sztywność poprzeczna zawieszenia zależy od:

- sztywności bocznej ogumienia,
- sztywności elementów wodzących zawieszenia,
- stanu przegubów (luzów i podatności),
- sztywności nadwozia (stan nadwozia, uszkodzenie struktury, osłabienie spowodowane korozją).

Badając sztywność poprzeczną zawieszenia uzyskamy ogólną ocenę stanu technicznego, na którą złożą się wszystkie wyżej wymienione elementy.

2. Idea stanowiska i sposób pomiaru

Głównym elementem stanowiska badawczego jest platforma wibracyjna wymuszająca drgania koła jezdnego.

W pierwszej koncepcji platforma wibracyjna wymuszała drgania koła jezdnego pojazdu w kierunku osi pionowej (rys. 1).



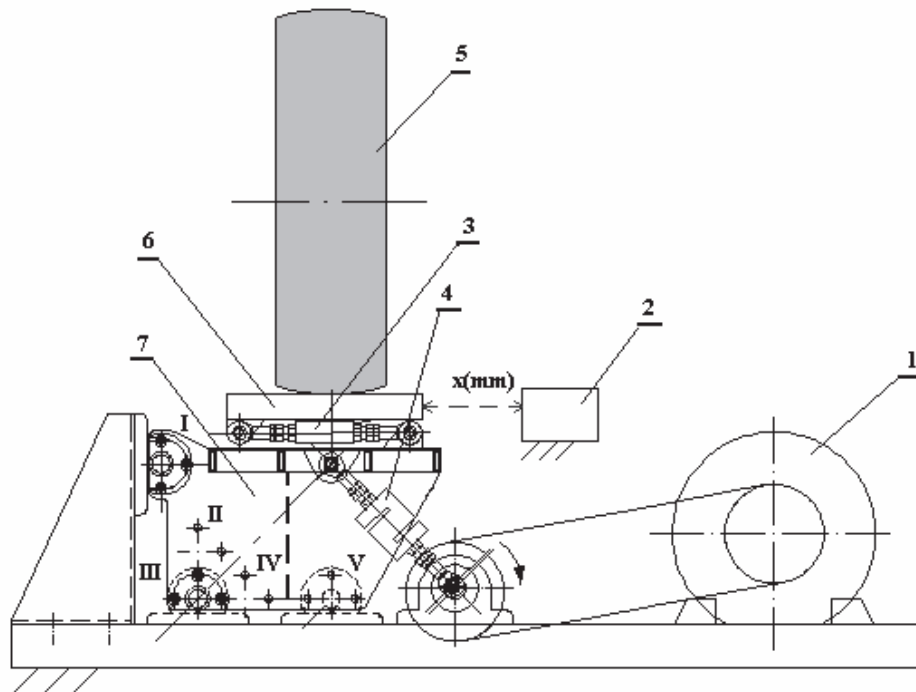
Rys. 1. Pierwsza koncepcja platformy wibracyjnej na stanowisku badawczym.

Fig. 1. The first concept of the vibratory platform on the test stand.

W koncepcji tej zastosowano w systemie pomiarowym dwie głowice pomiarowe, wyposażone w czujniki przyspieszeń (cztery dwuosiowe czujniki przyspieszeń w każdej głowicy). Głowice te umieszczono w różnych punktach pojazdu, jedna na kole

jezdnym, druga na nadwoziu. Ze względu na możliwość kasowania luzów przy wymuszeniu pionowym w uszkodzonych węzłach badanego wahacza i w związku z tym kłopoty z interpretacją wyników pomiarów, zmieniono koncepcję platformy wibracyjnej.

Uwzględniając powyższe wady zaproponowano nową koncepcję platformy wibracyjnej (rys. 2÷5).

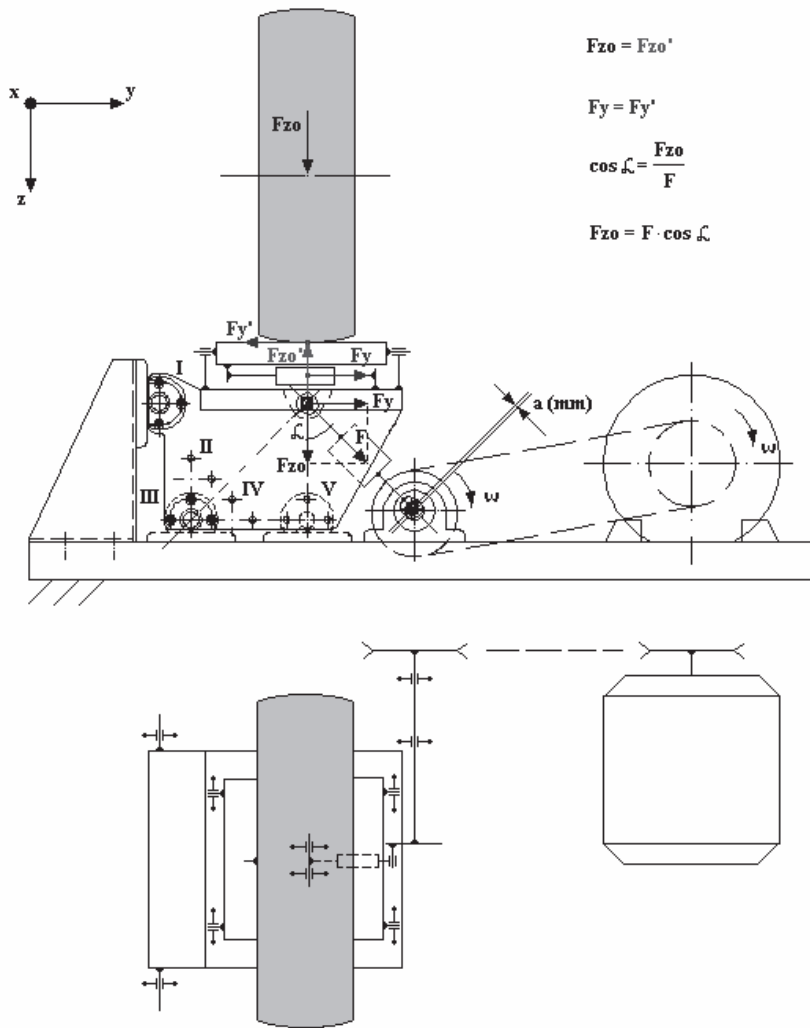


Rys. 2. Schemat nowej uniwersalnej platformy wibracyjnej:

1- silnik elektryczny o regulowanej prędkości obrotowej za pomocą falownika, 2- czujnik laserowy do pomiaru chwilowych przemieszczeń platformy, 3- czujnik siły do pomiaru chwilowych sił poprzecznych, 4- czujnik siły do pomiaru chwilowych sił „pionowych”, 5- koło jezdne pojazdu badanego, 6- platforma ruchoma górna, 7- platforma ruchoma dolna, I - punkt obrotu platformy zapewniający drgania „pionowe” koła jezdnego, II, III, IV- punkt obrotu platformy zapewniający jednocześnie drgania pionowe oraz poziome koła jezdnego, V- punkt obrotu platformy zapewniający drgania „poziome” koła jezdnego.

Fig. 2. Scheme of the new universal vibratory platform.

1- electric engine with changing rotation speed, 2- laser sensor used to measure the temporary changing of places of the vibratory platform, 3- force sensor used to measure the temporary cross forces, 4- force sensor used to measure the temporary 'vertical' forces, 5- wheel of the research vehicle, 6- moving upper research platform, 7- moving lower research platform, I - the rotating point of the research platform providing the vertical vibrations of the wheel, 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- the rotating point of the research platform providing the horizontal vibrations of the wheel.



$$F_{zo} = F_{zo}'$$

$$F_y = F_y'$$

$$\cos \angle = \frac{F_{zo}}{F}$$

$$F_{zo} = F \cdot \cos \angle$$

Rys. 3. Kinematyka układu z nową platformą wibracyjną:

F_y – siła pozioma poprzeczna, F_{zo} – siła pionowa (statyczne obciążenie pionowe danej osi pojazdu), F – siła mierzona przez czujnik (4), F_{zo}' , F_y' – siły reakcji.

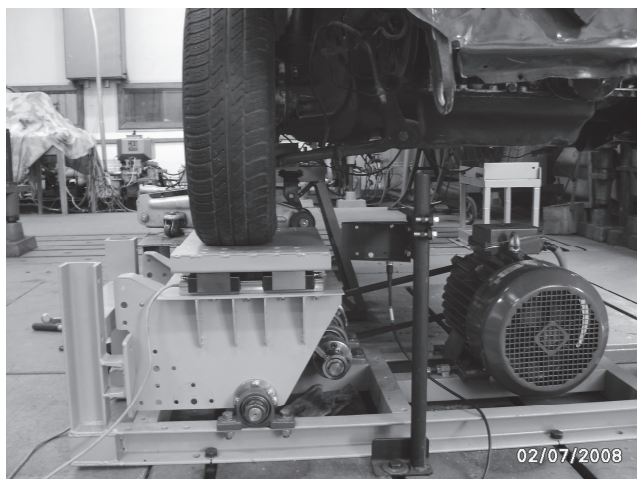
Fig. 3. Kinematics of an arrangement with the new vibratory platform.

F_y – horizontal force, F_{zo} – vertical force, F – force measuring with the sensor number (4),
 F_{zo}' , F_y' – reaction forces.

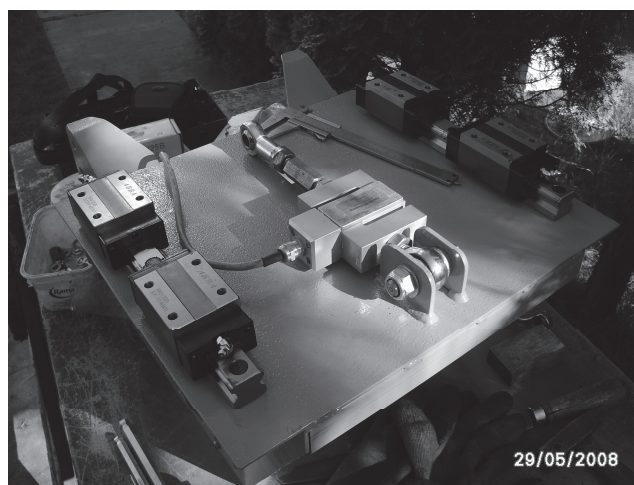
Platforma wibracyjna według nowej koncepcji zapewnia wybór różnych typów wymuszenia (rys. 2 i 3).

Pomiar chwilowej wartości siły poprzecznej (bocznej) przy określonych przemieszczeniach poprzecznych platformy pozwoli na szacowanie sztywności poprzecznej zawieszenia, a tym samym określanie jego stanu technicznego. Badanie sztywności zawieszenia będzie prowadzone dla pewnego i ustalonego zakresu częstotliwości drgań

platformy wibracyjnej, w skład której wchodzi platforma ruchoma górna (6) oraz dolna (7), napędzanej przez układ korbowy silnikiem elektrycznym (1), którego częstość obrotowa sterowana jest falownikiem. Badania prowadzone dla różnych częstości pozwolą na wykrywanie niesprawności układu tak dla częstości małych, jak i dużych, tj. takich, jakie mogą występować podczas jazdy pojazdu po drodze o różnych nierównościach.



Rys. 4. Nowa koncepcja uniwersalnej platformy wibracyjnej na stanowisku badawczym.
 Fig. 4. A new concept of the vibratory platform on the test stand.



Rys. 5. Nowa koncepcja uniwersalnej platformy wibracyjnej (widoczne łożyska liniowe i sposób mocowania czujnika siły poprzecznej).
 Fig. 5. A new concept of the vibratory platform (visible are linear bearings and the way of fixing the sensor of transverse strength).

Podczas badań częstość drgań jest zmienna w czasie w granicach od 2 do 22Hz. Rodzaj wymuszenia (do wyboru **I**, **II**, **III**, **IV**, **V**; rys 2 i 3) oraz amplituda ma określoną ustaloną odpowiednio dobraną wartość. Wymuszony ruch poprzeczny koła jezdnego ma wywołać stany naprężeń w układzie zawieszenia i generować siły reakcji oraz siły tarcia na platformie. Siła tarcia na platformie, przebieg jej wartości w cyklu, zależy od sztywności poprzecznej zawieszenia, od występowania ewentualnych niesprawności (luzów, uszkodzeń przegubów elastycznych, np. tulei gumowo metalowych), od sztywności nadwozia, od sztywności bocznej ogumienia. System pomiarowy umożliwia pomiar siły tarcia występującej na platformie ruchomej górnej (czujnik (3)), a także przemieszczenia platformy ruchomej górnej (czujnik (2)) w czasie cyklu. Analiza tych sygnałów umożliwi dokonanie oceny sztywności poprzecznej zawieszenia pojazdu. Możliwy jest również pomiar siły „pionowej” za pomocą czujnika siły (4), oczywiście biorąc pod uwagę kąt „ α ” (rys. 3), pod jakim znajduje się ten czujnik.

W przypadku wystąpienia nadmiernych luzów czy innych niesprawności układu zawieszenia, sztywność będzie miała zmniejszoną wartość. Ocena sztywności będzie w tym przypadku negatywna, a przez to stan techniczny pojazdu będzie uznany za zły. Powyższe stanowisko diagnostyczne umożliwia również przeprowadzenie testu EUSAMA, czyli dokonanie oceny tzw. przyczepności koła jezdnego przy drganiach pionowych.

3. Algorytm pomiarowy

Z uwagi na to, że system pomiarowy przedstawionego stanowiska diagnostycznego zawiera dwa czujniki siły poziomej i pionowej oraz czujnik przemieszczeń platformy wibracyjnej, można określić chwilową wartość sztywności bocznej zawieszenia pojazdu za pomocą wzoru:

$$S_{zt} = \frac{dF_y}{ds} \quad (1)$$

gdzie:

F_y - chwilowa wartość siły bocznej na platformie,
 s - chwilowa wartość przemieszczenia platformy.

Do celów pomiarowych można zastosować wzór uproszczony:

$$S_{zt} \approx \frac{\Delta F_y}{\Delta s} \quad (2)$$

gdzie:

ΔF_y - chwilowy przyrost wartości siły bocznej na platformie,
 Δs - chwilowy przyrost wartości przemieszczenia platformy.

Jako wskaźnik sztywności poprzecznej zawieszenia można użyć średnią wartość sztywności w cyklu:

$$W_{Iy} = \acute{s}rSz_t \quad (3)$$

Można też użyć wskaźnika sztywności odniesionego do obciążenia danej osi kół jezdnych pojazdu:

$$W_{2y} = \frac{\acute{s}rSz_t}{F_{z0}} \quad (4)$$

gdzie: F_{z0} - statyczne obciążenie pionowe danej osi pojazdu.

Do opracowania wyników z badań użyto wskaźnika oszacowanego ze średniej w cyklu wartości siły bocznej na platformie – $\acute{s}rF_y$.

$$W_y = \frac{\acute{s}rF_y}{F_{z0}} \quad (5)$$

gdzie:

W_y - wskaźnik sztywności poprzecznej zawieszenia,

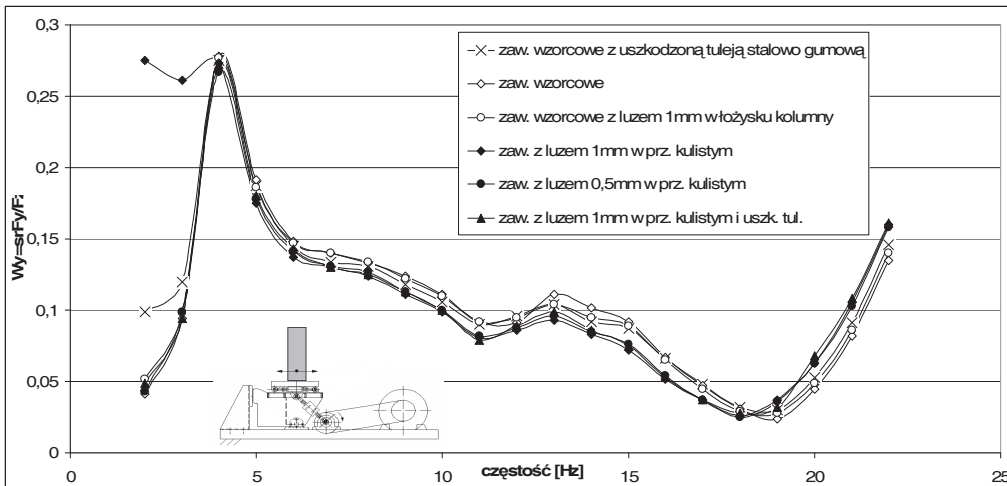
F_{z0} - statyczne obciążenie pionowe danej osi pojazdu,

$\acute{s}rF_y$ - średnia w cyklu wartość siły bocznej na platformie wibracyjnej wyznaczona z zależności:

$$\acute{s}rF_y = \Sigma abs(\acute{s}rF_y) \quad (6)$$

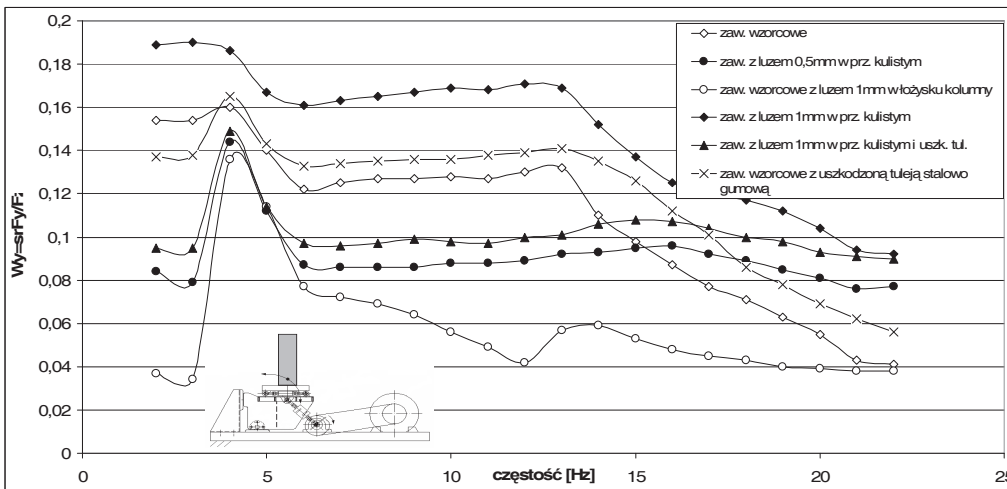
Podczas prowadzonych badań będą uwzględnione następujące przypadki stanu technicznego elementów zawieszenia (rys. 6 i 7):

- *zawieszenie wzorcowe* - zawieszenie przednie badanego pojazdu, w którym występuje: amortyzator w stanie technicznym dobrym, nowy wahacz wraz z dwiema tulejami stalowo gumowymi oraz przegubem kulistym,
- *zawieszenie z luzem 1mm w przegubie kulistym* - zawieszenie przednie badanego pojazdu, w którym występuje: amortyzator w stanie technicznym dobrym, nowy wahacz wraz z dwiema tulejami stalowo gumowymi, przegub kulisty z zasymulowanym luzem 1 mm,
- *zawieszenie z luzem 0,5 mm w przegubie kulistym* - zawieszenie przednie badanego pojazdu, w którym występuje: amortyzator w stanie technicznym dobrym, nowy wahacz wraz z dwiema tulejami stalowo gumowymi, przegub kulisty z zasymulowanym luzem 0,5 mm,
- *zawieszenie z luzem 1 mm w przegubie kulistym i uszkodzoną tuleją* - zawieszenie przednie badanego pojazdu, w którym występuje: amortyzator w stanie technicznym dobrym, nowy wahacz z uszkodzoną (rozwulkanizowaną) tuleją stalowo gumową, przegub kulisty z zasymulowanym luzem 1 mm,



Rys. 6. Przebieg charakterystyk wskaźnika sztywności poprzecznej zawieszenia ($W_y = \text{sr}F_y/F_{z0}$) dla różnych przypadków uszkodzeń w zawieszeniu przy wymuszeniu poziomym (punkt obrotu platformy **V** (rys. 2)).

Fig. 6. The course of the transverse stiffness coefficient of the suspension ($W_y = \text{sr}F_y/F_{z0}$) for different cases of damages in suspension near horizontal extorsion (the rotation point of the platform **V** (Fig. 2)).



Rys. 7. Przebieg charakterystyk wskaźnika sztywności poprzecznej zawieszenia ($W_y = \text{sr}F_y/F_{z0}$) dla różnych przypadków uszkodzeń w zawieszeniu przy wymuszeniu poprzeczno-pionowym (punkt obrotu platformy **III** (rys. 2)).

Fig. 7. The course of the transverse stiffness coefficient of the suspension ($W_y = \text{sr}F_y/F_{z0}$) for different cases of damages in suspension near cross-vertical (the rotation point of the platform **III** (Fig. 2)).

- *zawieszenie z luzem 1 mm 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 1 mm w łożysku głównym kolumny Macphersona.

5. Podsumowanie

Po przeprowadzonych wstępnych badaniach na stanowisku, na podstawie przebiegów charakterystyk wskaźnika sztywności poprzecznej, można stwierdzić, iż dla wymuszenia poziomego (rys. 6) mało zauważalna jest różnica pomiędzy charakterystykami dla zawieszenia wzorcowego (bez uszkodzeń) a zawieszeniami z uszkodzeniami (uszkodzona tuleja stalowo-gumowa, uszkodzony przegub kulisty czy luz na łożysku głównym kolumny). Różnice te są bardziej widoczne przy wymuszeniu poprzeczno-pionowym na rysunku 7, a tym samym istnieje możliwość identyfikacji danego uszkodzenia.

Wyniki z badań wstępnych potwierdzają słuszność przyjętej koncepcji platformy wibracyjnej oraz metody dokonywania badań obiektywnych. Dla pozostałych typów wymuszeń będą również prowadzone badania.

Literatura

- [1] ANDRZEJEWSKI R.: *Metoda identyfikacji mechanicznego obiektu dynamicznego*. Archiwum Motoryzacji. Marzec 2005. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej.
- [2] GIERGIEL J., UHL T.: *Identification of the impact force in mechanical systems*. The Archive of Mechanical Engineering, TOM XXXVI 1989, Zeszyt 2-3.
- [3] UHL T.: *Modal testing of mechanical systems by using an impact*. The Archive of Mechanical Engineering, TOM XXXVII 1990r. Zeszyt 4.

A new idea of the test stand to study the transverse stiffness of vehicle suspension

S u m m a r y

Presently applied test systems as well as diagnosing methods of the arrangement of vehicle suspension do not allow studying damages of the ball, rubber joints and other points of vehicle suspension. They show only the cycling dislocations of elements and it is impossible to give an objective opinion on the technical state of suspension. Therefore, at the moment the opinion of the technical condition is still supported by diagnostician observations of dislocations of suspension elements. The test stand to study the transverse stiffness of suspension of the vehicle would be used to create the diagnostic system to study the technical state of the suspension; it means to diagnose defects (clearance) of specific points of the system. Principle of working of the test stand is based on the analysis of output signals excited in suspension by the system producing harmonic vibrations of the constant amplitude and variable frequency directly on the wheel. In relation to present diagnostic methods the proposed test stand as well as the new method will enable the objective investigations of technical state of the vehicle suspension system.