

Kazimierz M. ROMANISZYN, Henryk WNEK
 AKADEMIA TECHNICZNO-HUMANISTYCZNA W BIELSKU BIAŁEJ

Symulacja dynamiki ruchu na mobilnym modelu samochodu

Prof. dr hab. inż. Kazimierz M. ROMANISZYN

Absolwent Politechniki Krakowskiej, dyplom w zakresie budowy samochodów i ciągników. Stopień doktora uzyskał w 1978 r. w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn, a stopień doktora habilitowanego w 1998 r. Jest profesorem na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, kierownikiem Katedry Silników Spalinowych i Pojazdów. Zajmuje się zagadnieniami badań pojazdów, zwłaszcza w zakresie alternatywnego zasilania samochodów.



e-mail: kromaniszyn@ath.bielsko.pl

Dr inż. Henryk WNEK

Absolwent Wydziału Budowy Maszyn Filii Politechniki Łódzkiej w Bielsku-Białej, dyplom w zakresie budowy samochodów i ciągników. Stopień doktora uzyskał w 2005 r. w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Jest adiunktem na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, w Zakładzie Pojazdów Katedry Silników Spalinowych i Pojazdów. Zajmuje się zagadnieniami badań pojazdów, zwłaszcza w zakresie stateczności i kierowności.



e-mail: hwnek@ath.bielsko.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono opis zdalnie sterowanego modelu samochodu ciężarowego, który przystosowano do badań dynamiki ruchu. Konstrukcja pojazdu odzwierciedla wszystkie ważniejsze zespoły układu przeniesienia napędu, zawieszę i układu kierowniczego. Dzięki odpowiedniej budowie można ustalać położenie środka masy. Model wyposażono w czujniki przyspieszeń x-y, których wskazania są przesyłane telemetrycznie do przenośnego komputera. W publikacji przedstawiono wyniki badań gwałtownego skrętu na płaszczyźnie i jazdy po okręgu na płaskiej nawierzchni o stałym nachyleniu.

Słowa kluczowe: samochód, dynamika ruchu, model.

Movable model of a car to dynamic testing

Abstract

A remote controlled model of a car is described in the paper. The model can be used to preliminary simulating investigations of the car movement. The vehicle model simulates all the most important components of the transmission, suspension and steering system. Owing to a suitable structure it is possible to change the position of the vehicle mass center. The model is equipped with the indicator of the danger of overturning and the sensors of the longitudinal and transverse accelerations, whose read-outs are transmitted telemetrically to a portable computer. It was fixed that the indicator begins its function when the established margin of accelerations is crossed. The modulation of acoustic and optical indicator signals increases with approaching to the limit of overturn of the vehicle. Authors analyze the matter of possible faults of registered movement parameters of the car as can mainly appear from the lack of the similarity of the stiffness of tires, suspensions and the bearing constructions of the vehicle. However, because of very high investigation costs of real car the model investigation can be applied instead of preliminary investigations of real object. Investigations of the indicator of exceeding the limiting lateral accelerations worked out by authors are introduced in the paper. The crossing of acceleration limit can cause the overturning the vehicle. The paper presents test results of sharp turn on the horizontal plane and on circular path drive on a flat surface with constant slope. It was showed in the paper that one can lead functional dynamic investigations on the mobile car model in the range of preliminary investigations.

Keywords: car, dynamics of motion, model.

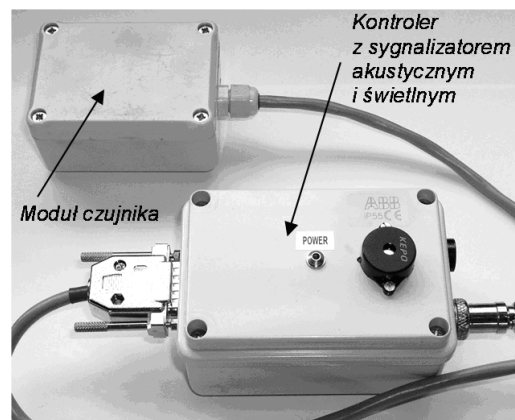
1. Wstęp

Badania trakcyjne samochodów, a dużych samochodów ciężarowych i specjalnych w szczególności, nastrożają wiele trudności logistycznych, są badaniami drogimi i uzależnionymi od warunków atmosferycznych [4]. W publikacji przedstawiono próbę przeprowadzenia badań funkcjonalnych sygnalizatora i czujnika przyspieszeń wzdluznych i poprzecznych na specjalnie skonstruowanym modelu samochodu [3, 7]. Oczywiście badania na modelu nie zastąpią ostatecznych badań na samochodzie rzeczywistym, jednak pozwalają na wstępną ocenę dynamiki ruchu w określonych testach jezdnych w powtarzalnych warunkach laboratoryjnych [1, 2, 6]. W opisanym przypadku na modelu badano funkcjonowanie sygnalizatora niebezpieczeństwa bocznego wywrotu

pojazdu [8] składającego się z modułu czujnika przyspieszeń x-y oraz kontrolera wyposażonego w akustyczny i optyczny sygnalizator poziomu przyspieszeń bocznych o założonych progach początku i końca sygnalizacji. Badany sygnalizator może być wykorzystywany jako czujnik zagrożenia przewróceniem samochodu na skutek działania sumarycznego przyspieszenia od pochylenia bocznego i ruchu po łuku. Konstrukcja czujnika pozwala na ustalenie progu początku sygnalizacji na złożonym poziomie przyspieszenia bocznego. Częstość działania sygnału świetlnego i akustycznego zwiększa się od założonego progu przyspieszenia aż do sygnału ciągłego ustalonego dla danego typu samochodu przy jego przewrocie bocznym. Przesłany sygnał z czujnika do kontrolera, zależnie od jego wartości i ustawionych progów działania wywołuje jeden z trzech stanów sygnalizacji akustycznej:

- brak sygnału (małe przyspieszenia poprzeczne, brak niebezpieczeństwa wywrotu),
- sygnał modulowany o zmiennej częstotliwości (ostrzeżenie przed niebezpieczeństwem wywrotu),
- sygnał ciągły (stan krytyczny).

Na rysunku 1 przedstawiono widok wykorzystywanego sygnalizatora niebezpieczeństwa wywrotu pojazdu, a na rysunku 2 schemat blokowy.

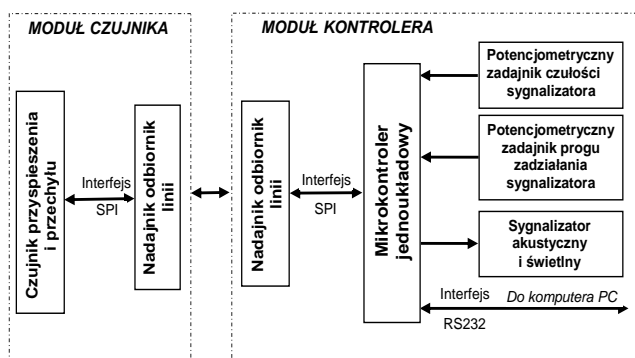


Rys. 1. Widok sygnalizatora zagrożenia przewrócenia pojazdu
 Fig. 1. The view of indicator of vehicle overturning danger

Do pomiaru przyspieszenia bocznego został wykorzystany układ ADIS16201 firmy ANALOG DEVICES USA, który jest mikroprocesorowym czujnikiem z cyfrowym wyjściem komunikacyjnym w standardzie SPI (*Serial Peripheral Interface Bus*). Odczyt danych z czujnika, odbywa się za pomocą mikroprocesorowego układu pomiarowego, który zawiera również interfejs RS232 kompatybilny z portem szeregowym komputera PC.

Dodatkową korzyścią wynikającą z realizacji badań dynamicznych na modelu samochodu jest możliwość ich realizacji aż do utraty stateczności, co w przypadku badań na rzeczywistym samochodzie wiąże się ze znacznymi stratami i zagrożeniem dla bada-

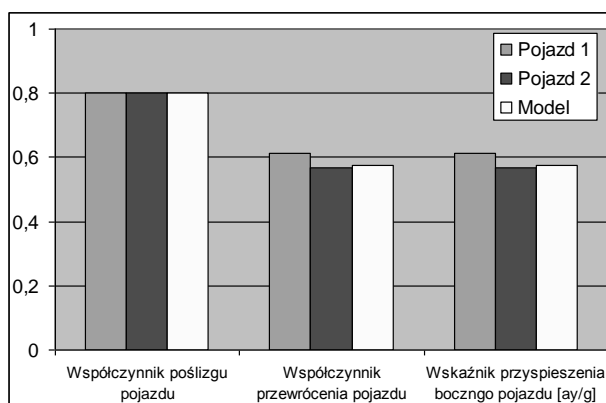
czy. Stosowanymi metodami zabezpieczeń w takich przypadkach są montowane dodatkowo podpory boczne wyposażone w koła. Stosowanie takich rozwiązań ma jednak wiele cech negatywnych, do których można zaliczyć zmianę parametrów samochodu badanego (głównie sztywności opon, zawieszę i mocowań), wynikającą z odmiennego rozkładu obciążeń i dodatkowych bezwładności przy stosowaniu wspomnianych podpór. Autorzy znają również przypadki przekroczenia wytrzymałości podpór i rzeczywistych przewróceń samochodów badawczych. Wykorzystanie modelu samochodu do badań dynamiki ruchu pojazdu pozwala na łatwość realizacji zmian rozdziału obciążenia na osie i wysokości środka masy, wykonania badań w warunkach laboratoryjnych o dużej powtarzalności oraz ograniczenie badań na torze doświadczalnym tylko do wytypowanych testów, w celu uzupełnienia lub potwierdzenia badań modelowych.



Rys. 2. Schemat blokowy sygnalizatora zagrożenia przewrócenia pojazdu

Fig. 2. The block diagram of indicator of vehicle overturning danger

Badania porównawcze przeprowadzone na modelu i rzeczywistych samochodach zaprezentowano w [5] dla przypadku jazdy po torze kołowym. Analizując ruch pojazdów wyznaczono wartości współczynników poślizgu oraz przewrócenia pojazdu odpowiednio dla badanych samochodów 1 i 2 oraz modelu i na tej podstawie wyznaczono maksymalną wartość przyspieszenia bocznego a_y . Na rysunku 3 przedstawiono porównanie wybranych parametrów określających skłonność do wywracania się badanych pojazdów rzeczywistych oraz modelu samochodu.



Rys. 3. Porównanie parametrów określających skłonność do wywracania się badanych pojazdów 1 i 2 oraz modelu samochodu [5]

Fig. 3. Comparison of parameters describing the tendency to overturning the vehicles 1 and 2 and car model [5]

Wyżej wymienione względy wskazują na słusność skierowania zainteresowań na badania przy użyciu modeli.

2. Budowa modelu do badań trakcyjnych

Aby model możliwie wiernie odwzorowywał warunki i dynamikę ruchu rzeczywistego samochodu, powinien spełniać następujące warunki:

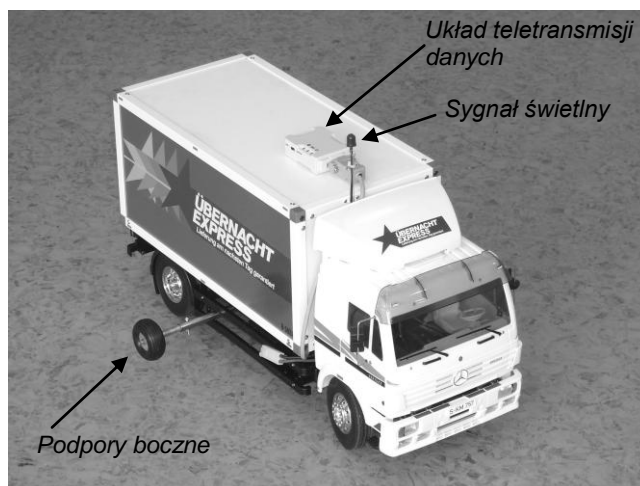
- kinematyka przeniesienia napędu z silnika do kół powinna być odwzorowaniem rzeczywistego układu napędowego,
- rozkład nacisków na osie i wysokość położenia środka masy powinny być proporcjonalne do występujących w samochodzie rzeczywistym,
- prędkości w ruchu liniowym (w tym prędkość maksymalna) powinny być proporcjonalne do wymiarów samochodu,
- kinematyka zawieszę i sztywność opon powinny być proporcjonalne do charakterystyk rzeczywistego samochodu.

Kierując się tymi wytycznymi, do badań modelowych postanowiono wykorzystać model samochodu ciężarowego Mercedes 5982. Model ten jest napędzany silnikiem elektrycznym, który napędza koła przez trzybiegową skrzynię biegów, wał napędowy i tylny most z przekładnią główną i symetrycznym mechanizmem różnicowym. Zawieszania modelu są typu zależnego z wykorzystaniem resorów piórowych i amortyzatorów ciernych (możliwa opcja z amortyzatorami hydraulicznymi).

W celu modelowania rozkładu nacisków na osie wykonano specjalny pojemnik mocowany do skrzyni ładunkowej. W pojemniku umieszczono podstawę pozwalającą na płynną zmianę położenia obciążnika, czujniki pomiarowe przyspieszenia, zasilanie oraz sygnalizator przekroczenia zadanego przyspieszenia bocznego. Sygnalizator generował sygnał dźwiękowy i świetlny w postaci rozbłysków diody świetlnej umieszczonej na dachu skrzyni ładunkowej. Również na dachu skrzyni umieszczono nadajnik do transmisji danych.

Odbiornik układu sterowania modelem umieszczono w kabinie kierowcy. Obsługiwał on regulator prędkości, serwomechanizm zmiany biegów i skrętu kół kierowanych. Model wyposażono w boczne koła podporowe zapobiegające przewrotom.

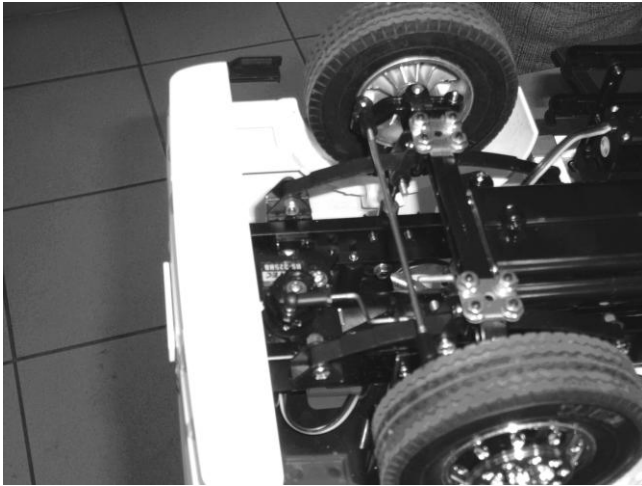
Na rysunku 4 przedstawiono ogólny widok modelu. Widoczne są boczne koła podporowe, a na dachu skrzyni ładunkowej dioda sygnalizacyjna i nadajnik teletransmisji.



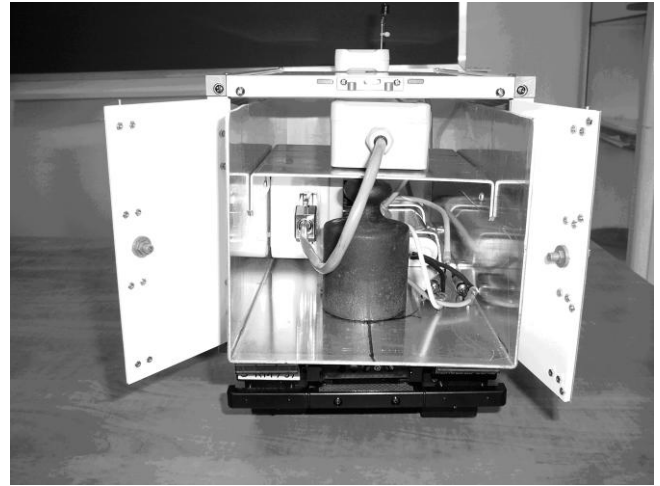
Rys. 4. Ogólny widok modelu samochodu

Fig. 4. The general view of car model

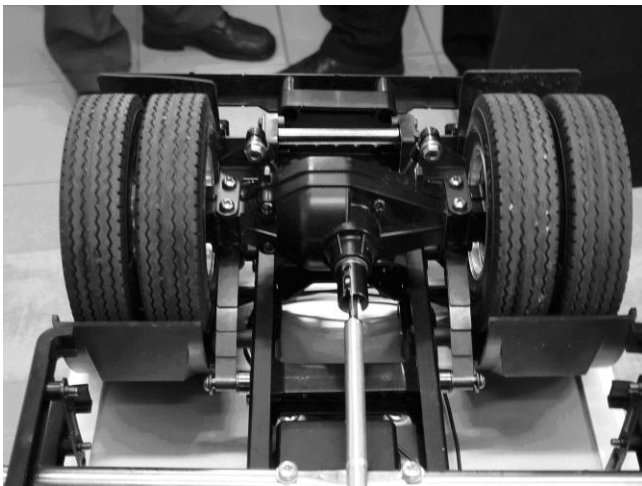
Na rysunku 5 zaprezentowano zawieszanie osi przedniej i układ kierowniczy. Na rysunku 6 przedstawiono tylny most napędowy podparty na resorach piórowych i wyposażony w amortyzatory.



Rys. 5. Widok osi przedniej i układu kierowniczego modelu samochodu
Fig. 5. The view of front axle and steering system of car model



Rys. 8. Umieszczenie pojemnika w nadwoziu samochodu
Fig. 8. Location of the container in the car body



Rys. 6. Widok mostu tylnego zawieszono na resorach wielopiórowych modelu
Fig. 6. The view of the rear axle casing suspended on leaf springs of model

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono pojemnik z aparaturą i ruchomym obciążnikiem stosowany w celu uzyskania pożądanego położenia środka masy.



Rys. 7. Pojemnik z obciążnikiem do uzyskania położenia środka masy
Fig. 7. Container with load to obtain the position of the mass centre

Na rysunku 9 przedstawiono sposób określania położenia środka masy metodą ważenia nacisków osi. Masa całkowita modelu gotowego do badań wynosiła 9,260 kg.



Rys. 9. Wyznaczanie środka masy metodą ważenia nacisków osi
Fig. 9. Determination the mass centre by the axle load weighing method

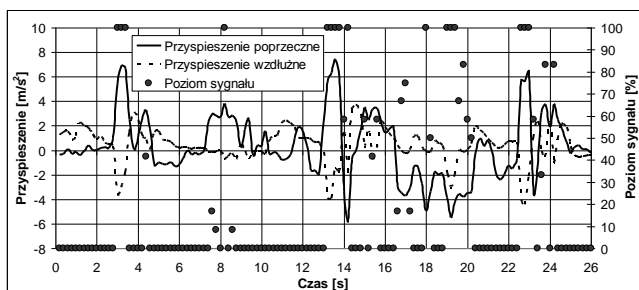
3. Badania dynamiczne z użyciem modelu

Model samochodu o założonych parametrach położenia środka ciężkości poddano badaniom ruchowym rejestrując przyspieszenia wzdłużne, poprzeczne i poziomy sygnał (alarmu) sygnalizatora zagrożenia przewrotem. Dane z czujników przesyłano telemetrycznie do przenośnego komputera, gdzie sygnały przetwarzano i przedstawiano w wymaganej formie graficznej.

Podczas badań wykonywano dwie próby powtarzane trzy razy, a następnie do analiz przyjmowano przebiegi uśrednione. Pierwsza próba polegała na wykonaniu gwałtownego skrętu kierownicy przy pełnej prędkości maksymalnej na II biegu (około 2,5 m/s). W tym przypadku przyspieszenie boczne powodowało utratę stateczności i podparcie się bocznym kołem podporowym. Z uwagi na dużą dynamikę manewru sygnały ostrzegawcze oznaczone na wykresie (rys. 10.) występują stosunkowo rzadko. W opisanych badaniach progowe początkowe przyspieszenie boczne ustawiono na 3,5 m/s², co stanowiło pierwszy poziom sygnalizacji, zaś ciągły sygnał na granicy wywrócenia ustalono na poziomie 4,5 m/s².

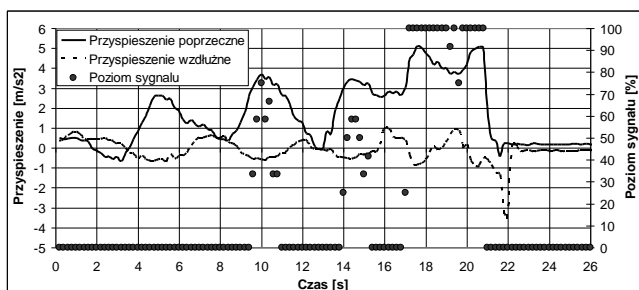
Badania prowadzono w pomieszczeniu zamkniętym na suchej nawierzchni o dużej przyczepności. Na rysunkach 10 i 11 linie ciągle oznaczają przebiegi przyspieszeń bocznych, przerywane przebiegi przyspieszeń podłużnych, a punkty oznaczają poziomy sygnałów ostrzegawczych w skali 0 ÷ 100%. Na rysunku 7 widoczne są wyniki 3. prób, których maksymalne wartości przyspieszeń bocznych wynoszą 7 m/s^2 . Po przekroczeniu stateczności bocznej przy takim przyspieszeniu występuje podparcie kołem bocznym, co powoduje wystąpienie drugiego maksimum lokalnego o mniejszej wartości, równej $4,1 \text{ m/s}^2$.

W drugiej próbie (rys. 11) model poruszał się po okręgu na płaszczyźnie o nachyleniu $3,5$ stopnia ze zwiększającą się prędkością. Na wykresie widoczne jest sumowanie przyspieszeń wynikających z pochylenia nawierzchni i przyspieszenia dośrodkowego, gdy samochód znajduje się w dolnej części płaszczyzny i odejmowanie przyspieszeń w górnej części płaszczyzny. Od 17. do 21. sekundy samochód utracił stateczność poprzeczną (ciągły sygnał alarmu) i poruszał się podpierając kołem bocznym. Wypadkowe przyspieszenie pochodzące od składowej siły ciężkości i od przyspieszenia dośrodkowego wyniosło $5,2 \text{ m/s}^2$.



Rys. 10. Przebiegi przyspieszeń poprzecznych i podłużnych z zaznaczeniem poziomów alarmu dla próby zarzucania

Fig. 10. Runs of lateral and longitudinal accelerations with alarm level marks for the test of side-slip



Rys. 11. Przebiegi przyspieszeń i poziomy alarmu sygnalizatora dla próby jazdy po okręgu na płaszczyźnie o nachyleniu $3,5$ stopnia z rosnącymi prędkościami

Fig. 11. The acceleration runs and signaling device alarm levels for track test on circle on plane with inclination of $3,5$ degree at growing velocity

Z uwagi na to, że badany model był wyposażony w symetryczny mechanizm różnicowy, w krańcowych przypadkach, na granicy utraty stateczności poprzecznej, następowała utrata napędu przez koło wewnętrzne. W warunkach quasistatycznych powinno to następować przy przyspieszeniu bocznym wynikającym z wymiarów pojazdu i położenia środka masy. Ciągły sygnał alarmowy (poziom 100%) ustawiony jest na takie przyspieszenie. Zarejestrowane w trakcie pierwszej próby większe wartości przyspieszeń bocznych wynikają z dynamiki przeprowadzonej próby.

4. Podsumowanie

W zaprezentowanej publikacji wykazano, że w zakresie badań wstępnych można prowadzić funkcjonalne badania dynamiczne na

mobilnym modelu samochodu. Wierność odwzorowania ruchu rzeczywistego samochodu wymaga zachowania proporcji między parametrami geometrycznymi i masowymi modelu i samochodu rzeczywistego.

Aby porównać ilościowo parametry dynamiczne występujące w ruchu samochodu rzeczywistego i występujące w ruchu modelu, powinna istnieć możliwość rejestracji prędkości wzdłużnej i poprzecznej w ruchu modelu.

Ograniczenie maksymalnej wartości przyspieszenia boczego, spowodowanego działaniem siły odśrodkowej, wynika z warunków przyczepności kół pojazdu oraz sztywności opon i zawiesz. W publikacji [5] wykazano, że model samochodu charakteryzujący się podobnymi współczynnikami opisującymi tendencję do poślizgu i wywrócenia w stosunku do samochodu rzeczywistego pozwala na analizę porównawczą badań pojazdu i modelu poruszających się po torze kołowym. Przeprowadzona analiza porównawcza modelu samochodu ciężarowego oraz rzeczywistych pojazdów wykazała, że różnice wyników pomiarów w dużym stopniu wynikają z innych właściwości podłoża. Znacznie mniejsze różnice powstają w wyniku innej podatności opon i sztywności zawiesz. Badane pojazdy jak i model, ze względu na wysoko położony środek masy, charakteryzowały się skłonnością do wywracania się. Próba jazdy po okręgu ze stałą prędkością pozwala na określenie parametrów, przy których może dojść do przewrócenia pojazdu. Podczas wykonywania rzeczywistych manewrów skrętu, wartości graniczne przyspieszeń bocznych będą niższe niż uzyskane z badań modelu, ponieważ wystąpią dodatkowo podatności, obniżające granicę wywrotu pojazdu.

Pomimo tych różnic model może być z powodzeniem wykorzystywany do wstępnych analiz stateczności ruchu pojazdu a w szczególności jego odporności na wywrócenie.

Zaprezentowana praca powstała w trakcie realizacji projektu badawczo rozwojowego MNiSW nr N R10 0008 04 „Opracowanie sygnalizatora zagrożenia bezpieczeństwa do pojazdów o wysoko położonym środku masy”.

5. Literatura

- [1] Genta G.: Motor Vehicle Dynamics – Modeling and simulation. Singapore: Word Scientifis Publishinh Co. Pte. Ltd., 1997.
- [2] Gillespie T. D.: Fundamentals of vehicle dynamics. Warrendale: SAE, 1992.
- [3] Romaniszyn K. M.: Mobilny model samochodu do badań dynamicznych. Bielsko-Biała: Scientific Journal of Automotive Research and Development Centre BOSMAL nr 42 (I-2009), 2009.
- [4] Romaniszyn K. M.: Porównanie cech dynamicznych samochodu specjalnego przy różnych położeniach środków ciężkości. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, 1(77)/2010. Politechnika Warszawska, Warszawa, 2010.
- [5] Parczewski K., Wnęk H.: The attempt to use the car model to the analysis of the vehicle movement after the curvilinear track. Transactions of the Universities of Košice 2009, nr 3.
- [6] Reński A.: Budowa samochodów, Układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszania. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2004.
- [7] Merkisz J., Mazurek S., Pielecha J.: Pokładowe urządzenia rejestrujące w samochodach. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2007.
- [8] Badania Katedry Silników Spalinowych i Pojazdów ATH Bielsko-Biała związane z realizacją projektu badawczo-rozwojowego MNiSW nr N R10 0008 04 „Opracowanie sygnalizatora zagrożenia bezpieczeństwa do pojazdów o wysoko położonym środku masy”.

otrzymano / received: 17.12.2009

przyjęto do druku / accepted: 03.02.2010

artykuł recenzowany