

# Determination of the actual angle of rotation and angular velocity of the rocker arm rotating on a metal-rubber sleeve relative to the direction with the least amount of rubber

Bartłomiej Bednarz <sup>1</sup>, Krzysztof Parczewski <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Interdisciplinary Doctoral School of the University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland, [d18@student.ubb.edu.pl](mailto:d18@student.ubb.edu.pl)

<sup>2</sup> University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland, e-mail [kparczewski@ubb.edu.pl](mailto:kparczewski@ubb.edu.pl)

\* Corresponding author, e-mail [d18@student.ubb.edu.pl](mailto:d18@student.ubb.edu.pl)

**Abstract:** In this work, the actual angle of rotation and the angular speed of the rotating swingarm were determined based on tests carried out on the compliance of the metal-rubber sleeve. The influence of these values on the following parameters was determined: the centre of lateral body roll and the axis of lateral body roll.

**Keywords:** bushing, compliance, swingarm;

## Wyznaczenie rzeczywistego kąta obrotu i prędkości kątowej wahacza obracającego się na metalowo-gumowej tulei względem kierunku z najmniejszą ilością gumy

Bartłomiej Bednarz <sup>1</sup>, opiekun naukowy Krzysztof Parczewski <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Interdyscyplinarna Szkoła Doktorska Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland, email: [d18@student.ubb.edu.pl](mailto:d18@student.ubb.edu.pl)

<sup>2</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland, e-mail [kparczewski@ubb.edu.pl](mailto:kparczewski@ubb.edu.pl)

\* Corresponding author, e-mail [d18@student.ubb.edu.pl](mailto:d18@student.ubb.edu.pl)

**Streszczenie:** W pracy wyznaczono rzeczywisty kąt obrotu oraz prędkość kątową obracającego się wahacza na podstawie przeprowadzonych badań podatności tulei metalowo-gumowej. Określono wpływ tych wielkości na następujące parametry: środek boczny przechyłu nadwozia oraz oś boczny przechyłu nadwozia.

**Słowa kluczowe:** tuleja, podatność, wahacz;

### 1. Wprowadzenie

Przez pojęcie zawieszenia rozumie się układ mechanizmów łączących koła jezdne samochodu z nadwoziem lub ramą. Ze względu na spełniane funkcje, w zawieszeniu wyróżnia się elementy prowadzące, sprężyste i tłumiące. Elementy prowadzące (wahacze, drążki reakcyjne) wyznaczają kinematykę ruchu kół względem nadwozia [1] w trakcie jego dociążania i odciążania. Podatność elementów gumowych zawiesznień wpływa na zmniejszenie sił reakcyjnych działających na nadwozie oraz w efekcie działania sił bocznych umożliwia korygowanie kątów zbieżności kół. Obecnie w większości samochodów osobowych stosuje się na zawieszenia przednie z kolumnami prowadzącymi McPherson'a.

## 2. Zawieszenie z kolumnami prowadzącymi (McPherson)

### 2.1 Opis budowy zawieszenia

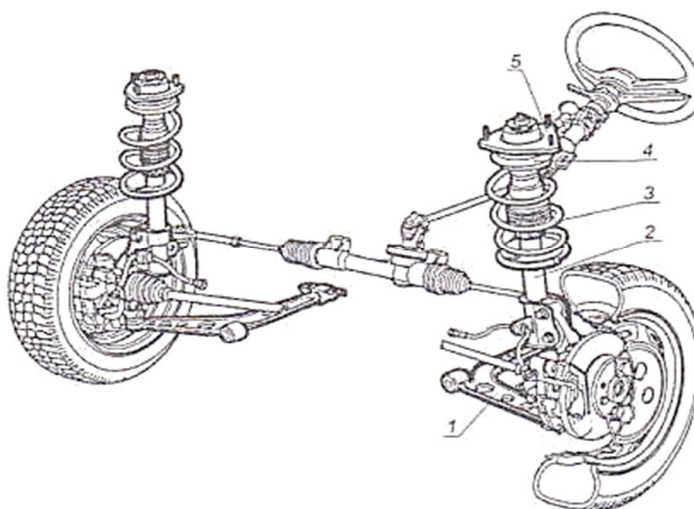
Zawieszenie z kolumnami prowadzącymi (McPherson) stanowi rozwinięcie konstrukcyjne zawieszenia z podwójnymi wahaczami poprzecznymi. Górny wahacz został zastąpiony punktem podparcia w nadkolu. Umieszczone są tu zakończenia tłoczyska amortyzatora i sprężyny. W punkcie tym są wprowadzone siły w nadwozie, we wszystkich trzech kierunkach, które z kolei obciążają tłoczysko momentem zginającym. Aby zapobiec, wynikającym z podatności, zmianom kąta pochylenia i kąta wyprzedzania osi zwrotnicy, średnica tłoczyska amortyzatora musiała zostać zwiększona. Przy zachowanej średnicy tłoka amortyzator ma zwykle budowę dwururową, pracuje przy nie zmienionym lub podwyższonym ciśnieniu. Główną korzyścią stosowania zawieszenia z kolumnami prowadzącymi jest to, że wszystkie elementy biorące udział w resorowaniu i prowadzeniu kół można zintegrować w jednym zespole montażowym. Elementy te przedstawiono na rysunku 1. Są to:

- dolny talerz oporowy sprężyny,
- dodatkowy element sprężysty lub odbojnik,
- ogranicznik skoku rozciągania,
- stabilizator wahliwy połączony za pośrednictwem cięgna,
- zwrotnica koła.

Zwrotnica koła może być trwale połączona z obudową kolumny zawieszenia. Dalszymi korzyściami stosowania zawiesznień z kolumnami prowadzącymi są:

- mniejsze siły w punktach mocowania zawieszenia do nadwozia (rysunek 1),
- zmniejszenie o 3 liczby przegubów,
- możliwość lepszego ukształtowania przedniej strefy zgniotu nadwozia,
- szerszy przedział komory silnika, dzięki czemu możliwa jest poprzeczna jego zabudowa [2].

Elementy gumowe rozmieszczone są w punktach montażowych wahacza oraz w górnym punkcie mocowania amortyzatora. Podatności tych elementów pozwalają na niewielkie odchylenia ustawienia wahacza względem osi wzdłużnej i poprzecznej pojazdu. Odbojniki gumowe wpływają na zmniejszenie sił przenoszonych na nadwozie i ograniczają ruch tłoczyska amortyzatora. Na wielkości odchyżeń od położenia statycznego wpływają podatności tulei gumowych wahacza [3].



**Rysunek 1.** Zawieszenie McPhersona (Fiat Seicento) [4]

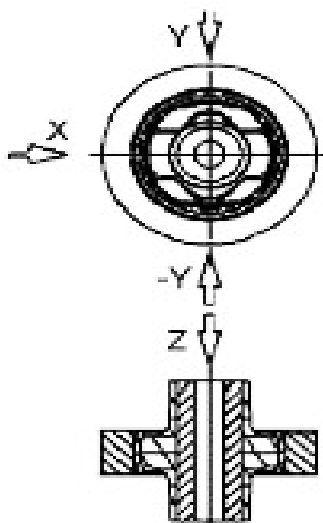
1 - wahacz, 2 – kolumna prowadząca, 3 - sprężyna, 4 – odbojnik, 5- łożysko oporowe

### 2.2 Tuleje metalowo-gumowe w zawieszeniu

Podatności gumowych tulei wahacza podzielić można na:

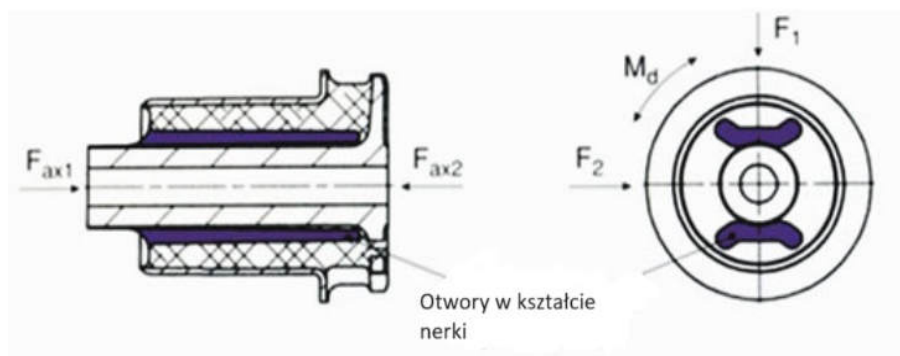
- podatność promieniową, wzdłuż kierunków  $x$  lub  $y$  układu odniesienia korpusu, gdy oś wewnętrznej średnicy tulei jest skierowana do osi  $z$  (rysunek 2);

- podatność osiową, wzdłuż osi z;
- podatność kątową, wyznaczaną przez obciążenie tulei pod określonym kątem;
- podatność skrętną, mierzoną dzięki określeniu kąta obrotu gumy względem stalowego korpusu pod wpływem przyłożonego momentu [5].



**Rysunek 2.** Rzuty przekrojów tulei wraz z naniesionym układem odniesienia [5]

Jednym ze sposobów na zwiększenie ogólnej podatności tulei jest wykonanie w niej otworów w kształcie nerki (rysunek 3) [6].



**Rysunek 3.** Tuleja metalowo-gumowa z otworami w kształcie nerki [6]

Innym sposobem zwiększenia podatności tulei jest zróżnicowanie pod względem ilości gumy na różnych jej kierunkach (rysunek 4).

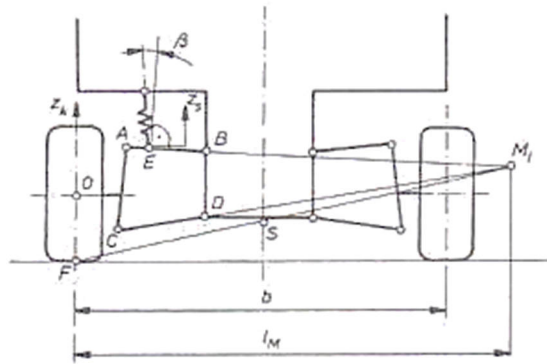


**Rysunek 4.** Badana tuleja [3]

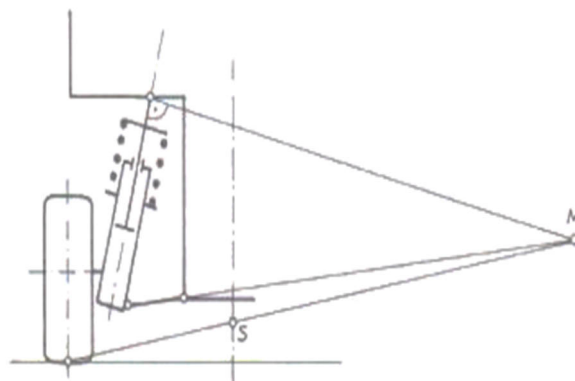
Na siły działające w tulejach metalowo-gumowych wpływają przechyły nadwozia wywołane działaniem sił bocznych.

### 2.3 Środek boczny przechyłu

Na rysunku 5 przedstawiono sposób wyznaczania środka bocznego przechyłu nadwozia dla zawieszenia z podwójnymi wahaczami poprzecznymi. Przy przemieszczeniu koła wraz ze zwrotnicą względem nadwozia, traktowanego jako nieruchome, kierunki prędkości dwóch punktów zwrotnicy wyznaczone są przez wahacze – prędkość końców (A,C) wahaczy może być tylko prostopadła do tych wahaczy. Chwilowy środek obrotu koła i zwrotnicy ( $M_p$  lub  $M_l$ ) musi leżeć na przecięciu prostopadłych do kierunków prędkości dwóch punktów tej bryły, a więc w danym przypadku na przedłużeniu wahaczy. Znajomość położenia chwilowego środka obrotu pozwala na wyznaczenie kierunku prędkości dowolnego punktu tej bryły, a więc także punktu F styku koła z jezdnią, jako prostopadłego do prostej łączącej chwilowy środek obrotu z tym punktem. Z kolei punkt przecięcia prostopadłych do kierunków prędkości w punktach styku kół z jezdnią przy ich ruchu względem nadwozia jest poszukiwanym środkiem bocznego przechyłu S. W pozycji wyjściowej, gdy nadwozie nie jest przechylone, punkt S leży na pionowej płaszczyźnie symetrii nadwozia. Na rysunku 6 pokazany jest analogiczny tok postępowania dla zawieszenia McPherson'a. W tym przypadku chwilowy środek obrotu koła i zwrotnicy znajduje się w punkcie przecięcia linii przedłużenia dolnego wahacza i prostopadłej do osi kolumny, poprowadzonej w jej górnym mocowaniu [1].



**Rysunek 5.** Wyznaczenie środka bocznego przechyłu nadwozia dla zawieszenia z podwójnymi wahaczami poprzecznymi [1]



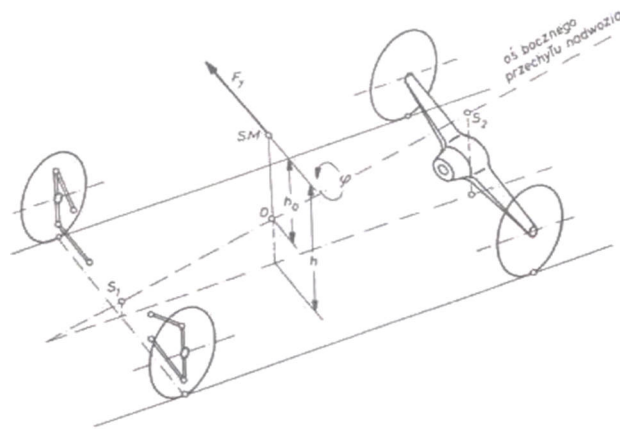
**Rysunek 6.** Wyznaczenie środka bocznego przechyłu nadwozia dla zawieszenia McPhersona [1]

Wyznaczenie środków przechyłu zawiesznień przedniego i tylnego pozwala na ustalenie położenia osi bocznego przechyłu.

### 2.4 Oś bocznego przechyłu

Samochód wyposażony jest zazwyczaj w różnego typu zawieszenia kół osi przedniej i tylnej. Jeśli znane jest położenie środków przechyłu nadwozia w płaszczyźnie osi kół przednich i tylnych, można wyznaczyć oś przechyłu nadwozia jako prostą łączącą oba środki przechyłu (rysunek 7). Jest to linia, wokół której następuje obrót nadwozia przy przechyle bocznym. Znajomość położenia osi bocznego przechyłu istotna jest przy wyznaczaniu kąta bocznego przechyłu

nadwozia. Odległość środka masy nadwozia od osi bocznego przechyłu jest ramieniem momentu przechylającego, pochodzącego od sił bocznych przyłożonych w środku masy (np. siły odśrodkowej) [1, 8].



Rysunek 7. Oś bocznego przechyłu [1]

### 3. Cel i zakres pracy

Celem pracy było wyznaczenie na podstawie przeprowadzonych badań rzeczywistego kąta obrotu i prędkości kątowej wahacza w zakresie pracy pod maksymalnym przewidzianym dla niego obciążeniem.

### 4. Materiał badawczy

Badania przeprowadzono w laboratorium odlewniczym Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego na maszynie ZD-20 (rysunek 8). Badaniom została poddana jedna z tulei wahacza poprzecznego z zawieszenia typu McPherson. Wykonano próby obciążeniowe tulei na kierunku z najmniejszą ilością gumy i jako wartość miarodajną podatności uznawano średnią arytmetyczną z trzech powtórzeń.

Podjęto się wyznaczenia podatności zdefiniowanej jako stosunek przemieszczenia do siły [7].



Rysunek 8. Maszyna pomiarowa ZD-20

Wyznaczenie podatności tulei, umownie nazwanej kątową, wykonano przy użyciu uchwytu w kształcie ceownika ze skróconą jedną ścianką (rysunek 9). Skrócenie to dobrano tak, aby uzyskać kąt  $12^\circ$  pomiędzy zewnętrzną krawędzią szczytu krótszej ze ścianek ceownika a wewnętrzną krawędzią szczytu wyższej ścianki ceownika. W ten sposób zasymulowano rzeczywistą pracę tulei podczas jazdy na zakręcie. W takim przypadku przy dociążeniu jednej strony pojazdu, maksymalne wychylenie wahacza w jednym kierunku wynosi  $\sim 12^\circ$  [3].



Rysunek 9. Przebieg jednego z pomiarów podatności kątowej [3]

## 5. Metodyka badań

Obliczono rzeczywiste kąty obrotu i prędkości kątowe wahacza względem kierunków tulei zróżnicowanych pod kątem zasobności w gumę podczas jazdy na zakręcie. Wykorzystano następujące zależności: dla wyznaczenia rzeczywistych kątów obrotu:

$$\frac{p}{r} = \operatorname{tg} 12^\circ \quad (1)$$

$$\operatorname{arctg} \frac{p}{r} = \alpha$$

gdzie:

$p$  – przemieszczenie wyznaczone w badaniu podatności kątowej,

$r$  – promień obrotu tulei,

$\alpha$  – rzeczywisty kąt obrotu wahacza;

dla wyznaczenia prędkości kątowej:

$$E_k = E_p \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot a \cdot r \cdot \frac{\alpha(^{\circ}) \cdot \pi}{180^{\circ}} \quad (3)$$

$$V = \sqrt{2 \cdot a \cdot r \cdot \frac{\alpha(^{\circ}) \cdot \pi}{180^{\circ}}} \quad (4)$$

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (5)$$

gdzie:

$v$  – prędkość liniowa tulei,

$a$  – przyspieszenie boczne podczas jazdy na zakręcie,

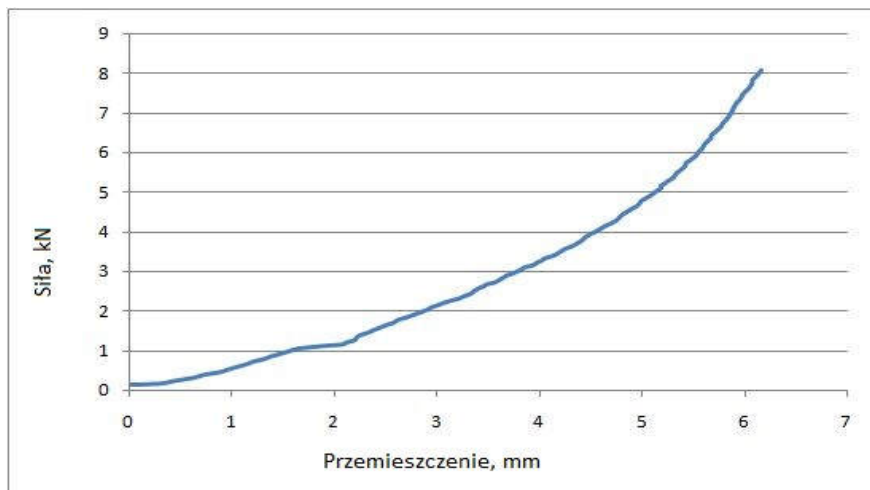
$r$  – promień obrotu tulei,

$\alpha$  – kąt obrotu wahacza,

$\omega$  – prędkość kątowa wahacza.

## 6. Wyniki i ich omówienie

Rysunek 10 obrazuje podatność kątową tulei na kierunku z najmniejszą ilością gumy. Przy standardowym obciążeniu koła przedniego siłą równą 3000 N przemieszczenie wyniosło 3,76 mm. Po przeliczeniu uzyskano podatność równą 1,25 mm/kN.



**Rysunek 10.** Kształtowanie się średnich wartości siły obciążającej tuleję podczas badania podatności kątowej w odniesieniu do przemieszczenia elementu dla kierunku z najmniejszą ilością gumy

Maksymalne wychylenie wahacza od położenia statycznego w jednym kierunku, poprzecznym do osi pojazdu, wynosi  $\sim 12^\circ$  i dobierane jest dla kierunku tulei z największą ilością gumy. Podczas montażu lub napraw zdarzyć może się jednak, że w ucho wahacza poprzecznego, w wyniku błędu, wprasowywana tuleja zostanie obrócona w ten sposób, że przechył nadwozia podczas jazdy na zakręcie dokonywał będzie się względem kierunku tulei ze średnią, lub najmniejszą ilością gumy. Kąt obrotu wahacza wyniesie wówczas wartość wyższą niż planowane  $\sim 12^\circ$ , a jego dokładną wartość można wyznaczyć dokonując następujących przekształceń:

$$\frac{p}{r} = \operatorname{tg} 12^\circ, \quad (6)$$

gdzie:

$p$  – przemieszczenie wyznaczone w badaniu podatności kątowej,

$r$  – promień obrotu tulei.

Promień obrotu tulei można zmierzyć; można go jednak również wyznaczyć:

$$\frac{3,35 \text{ mm}}{b} = \operatorname{tg} 12^\circ,$$

$$\frac{3,35 \text{ mm}}{b} = 0,21256,$$

$$\frac{3,35 \text{ mm}}{0,21256} = b,$$

$$b = 15,76 \text{ mm}.$$

Kąt obrotu wahacza względem kierunku tulei z najmniejszą ilością gumy wyniósł:

$$\arctg \frac{3,76 \text{ mm}}{15,76 \text{ mm}} = \alpha \quad (7)$$

$$\alpha = 13,42^\circ.$$

Prędkość obrotowa wahacza dla kierunku z najmniejszą ilością gumy:

$$V = \sqrt{2 \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,01576 \text{ m} \cdot \frac{13,42^\circ \cdot \pi}{180^\circ}}, \quad (8)$$

$$V = 0,17185 \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

$$\omega = \frac{0,17185 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,01576 \text{ m}}$$

$$\omega = 10,904 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

Zmiany kątów obrotu wahacza, choć wydają się niewielkie, nie pozostają bez znaczenia dla takich parametrów, jak: chwilowy środek ruchu koła, środek bocznego przechyłu oraz oś bocznego przechyłu. W przypadku obrotu względem kierunku z najmniejszą ilością gumy największym zagrożeniem nie są jednak niekorzystne zmiany wspomnianych wielkości, a jej rozerwanie, które może doprowadzić do jeszcze większych i niebezpiecznych przechyłów nadwozia i wahaczy. W zawieszeniu McPhersona nieodpowiednie wprasowanie tulei w ucho wahacza przekłada się również na zwiększenie sił działających wewnątrz cylindra amortyzatora. Wynika to ze zwiększenia prędkości kątowej wahacza. Ponadto w przypadku, kiedy dojdzie do rozerwania gumowej tulei, amortyzator przenosi większe obciążenia, ponieważ guma nie bierze już udziału w przekazywaniu sił, co może doprowadzić do jego szybszego wyeksploatowania oraz uszkodzenia lub zniszczenia sprężyny.

## 7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Nieprawidłowe ustawienie tulei w uchu wahacza wpływa na obniżenie środka oraz osi bocznego przechyłu nadwozia.
2. Kierunek ustawienia tulei w zależności od ilości gumy wpływa na przenoszenie obciążeń między wahaczem i nadwoziem. Zmiana kierunku ustawienia tulei z najmniejszą i średnią ilością gumy podczas obrotu wahacza wpływa na żywotność amortyzatora i sprężyny w zawieszeniu McPhersona.

## Literatura

1. Reński A.: *Budowa samochodów. Układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszenia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
2. Reimpell J., Betzler J.: *Podwozia samochodów – Podstawy konstrukcji*, WKiŁ, Warszawa 2004, 2008.
3. Bednarz B., Parczewski K.: *Porównanie podatności promieniowej i kątowej tulei wahacza poprzecznego dla wybranych kierunków przykładania obciążenia*, Akademia Techniczno - Humanistyczna w Bielsku-Białej, *Projektowanie, badania i eksploatacja*, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno – Humanistycznej w Bielsku Białej, Bielsko-Biała 2019.
4. Zembowicz J.: *Fiat Seicento*, WKiŁ, Warszawa 2002.
5. Genta G., Morello L.: *The Automotive Chassis. Volume 1: Components Design*, Springer, 2009.
6. Ersoy M., Heiβing B.: *Chassis Handbook. Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives*, Vieweg+Teubner Verlag, 2011.
7. Żółtowski B., Łukasiewicz M., *Diagnostyka drganiowa maszyn*, ITC, Radom 2012.
8. Parczewski K., Wnęk H.: *The influence of the type of suspensions on vehicle stability and steerability*. Proceedings' of 19<sup>th</sup> International Conference. Transport Means. Kaunas, 2015, 187-190