

## INVESTIGATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF A MOTOR CAR IN ITS CURVILINEAR MOTION

Andrzej Reński, Janusz Pokorski, Marek Bieliński, Hubert Sar

Warsaw University of Technology. Institute of Vehicles  
ul. Narbutta 84, 02-624 Warszawa  
tel.: +48 22 8490302, fax: +48 22 8490303  
e-mail: arsenki@simr.pw.edu.pl

### Abstract

The paper presents the results of investigation of dynamic properties of a motor car in its curvilinear motion. The aim of the work was an identification of tyres' characteristics and vehicle's yaw moment of inertia on the basis of road tests. The tyres' characteristics were determined during steady-state cornering. Lateral velocities of two points of the car and a lateral acceleration of its center of gravity were used in the method.

The method of identification of the vehicle's yaw moment of inertia consists on comparison of results of the computer simulation of the non-steady-state tests, carried on for the different values of vehicle's yaw moment of inertia, with the results of the same road tests. The value of yaw moment of inertia, for which the difference between calculation and test results is the smallest, can be chosen as its searched value.

Other aim of the work was to work out the method of reconstruction of vehicle's trajectory on the basis of signals obtained from the sensors mounted on the vehicle. For reconstruction of vehicle's trajectory signals of a longitudinal velocity and two lateral velocities or signals of a longitudinal velocity and a yaw velocity were used.

**Keywords:** vehicle dynamic, tyres characteristics, yaw moment of inertia, vehicle trajectory

## BADANIE WŁASNOŚCI DYNAMICZNYCH SAMOCHODU W RUCHU KRZYWOLINIOWYM

### Streszczenie

W pracy przedstawione są wyniki badań wybranych własności dynamicznych samochodu, poruszającego się ruchem krzywoliniowym. Badania miały na celu wyznaczenia charakterystyk boczno-środkowego znoszenia opon i centralnego momentu bezwładności samochodu względem jego osi pionowej na podstawie testów drogowych.

Wyznaczenie charakterystyk boczno-środkowego znoszenia opon przeprowadzono na podstawie prędkości poprzecznych dwóch punktów samochodu oraz przyspieszenia poprzecznego środka masy samochodu. Metoda wyznaczania momentu bezwładności samochodu polegała z kolei na porównywaniu wyników testów drogowych z wynikami symulacji komputerowej przeprowadzanej dla różnych wartości momentu bezwładności. Za poszukiwaną wartość tego momentu przyjmowano tę jego wartość, dla której różnica pomiędzy wynikami symulacji komputerowej a wynikami testu drogowego była najmniejsza.

Drugim celem pracy było sprawdzenie możliwości odtworzenia trajektorii ruchu pojazdu na podstawie sygnałów uzyskanych z czujników zamontowanych w pojeździe. Do odtwarzania trajektorii ruchu wykorzystywano sygnały prędkości podłużnej i dwóch prędkości poprzecznych lub prędkości podłużnej i prędkości kątowej samochodu.

**Słowa kluczowe:** dynamika ruchu samochodu, charakterystyki opon, moment bezwładności, trajektoria ruchu.

### 1. Wstęp

Zagadnienia bezpieczeństwa czynnego samochodu są jednymi z najważniejszych problemów dynamiki pojazdu. Komputerowa symulacja ruchu krzywoliniowego oraz sterowania kierunkiem jazdy samochodu odgrywają tu bardzo istotną rolę jako tania oraz bezpieczna metoda badań kierowności stateczności.

Do matematycznego opisu ruchu pojazdu stosowane są różne modele: od bardzo prostego liniowego o dwóch stopniach swobody do bardzo skomplikowanych modeli nieliniowych (np. [3]). Stopień komplikacji modelu zależy od obiektu i celu badań. W wielu przypadkach do opisu ruchu krzywoliniowego samochodu używany jest najprostszy model, znany pod angielską nazwą *bicycle model*. Ten model pojazdu wykorzystywano także w niniejszej pracy. W praktyce, nawet w przypadku najprostszego modelu, jego zastosowanie w obliczeniach zależy od dostępnych danych. Zazwyczaj najtrudniejszym zagadnieniem jest identyfikacja charakterystyk opon oraz masowego momentu bezwładności pojazdu. Uzyskanie tych danych tradycyjnymi metodami wymaga wykorzystania trudno dostępnych stanowisk badawczych.

Zakład Samochodów Instytutu Pojazdów od wielu lat prowadzi prace związane z symulacją komputerową ruchu samochodu oraz doskonaleniem metod badawczych i pomiarowych. Wynikiem tych prac była budowa zestawu pomiarowego oraz opracowanie odpowiedniego oprogramowania do badania podłużnej i poprzecznej dynamiki ruchu samochodu [4]. Zestaw ten umożliwia pomiar i rejestrację wielu sygnałów (np.: przyśpieszenie poprzeczne, prędkość kątowna, kąty znoszenia kół, kąt obrotu kierownicy) w czasie wykonywania wybranych manewrów (ruch po okręgu w stanie ustalonym, podwójna zmiana pasa ruchu, jazda slalomem). W szczególności na podstawie sygnałów zarejestrowanych w trakcie testów ustalonego ruchu po okręgu wyznaczono charakterystyki bocznego znoszenia opon przedniej i tylnej osi. Otrzymane w ten sposób charakterystyki zostały z kolei użyte przy wyznaczaniu momentu bezwładności samochodu względem jego centralnej osi pionowej, do czego wykorzystano wyniki testów drogowych, przeprowadzanych w stanach nieustalonych (np.: podwójna zmiana pasa ruchu, slalom).

## 2. Model pojazdu

Do matematycznego opisu krzywoliniowego ruchu pojazdu wybrano jednośladowy model ruchu pojazdu (*bicycle model*). Schemat modelu pokazano na rys. 1. Ruch samochodu może być tu opisany przez dwie współrzędne: przemieszczenie w kierunku osi  $y$  (w ruchomym układzie współrzędnych związanym z pojazdem) i kąt obrotu pojazdu  $\psi$  lub przez ich pochodne – prędkość poprzeczną  $\dot{y}$  i kątowną  $\dot{\psi}$ . Na rysunku przyjęto następujące oznaczenia:

$(x_C, y_C)$  - nieruchomy układ współrzędnych,

$(x, y)$  - ruchomy układ współrzędnych związany z pojazdem,

$v$  - prędkość samochodu,

$m$  - masa,

$J_z$  - masowy moment bezwładności pojazdu względem osi  $z$ ,

$l_{12}$  - rozstaw osi,

$l_1$  - odległość środka masy  $S$  od osi przedniej,

$l_2$  - odległość środka masy  $S$  od osi tylnej,

$\psi$  - kąt obrotu pojazdu względem nieruchomego układu współrzędnych,

$\delta_1$  - kąt skrętu kół osi przedniej,

$\delta_2$  - kąt skrętu kół osi tylnej (zazwyczaj równy zero),

$\alpha_1$  - kąt bocznego znoszenia kół osi przedniej,

$\alpha_2$  - kąt bocznego znoszenia kół osi tylnej,

$F_r$  - siła odśrodkowa.

Ponadto współczynniki odporności na boczne znoszenie kół osi przedniej i tylnej oznaczono jako  $K_1$  i  $K_2$ .

Ruch pojazdu można opisać następującym układem równań:

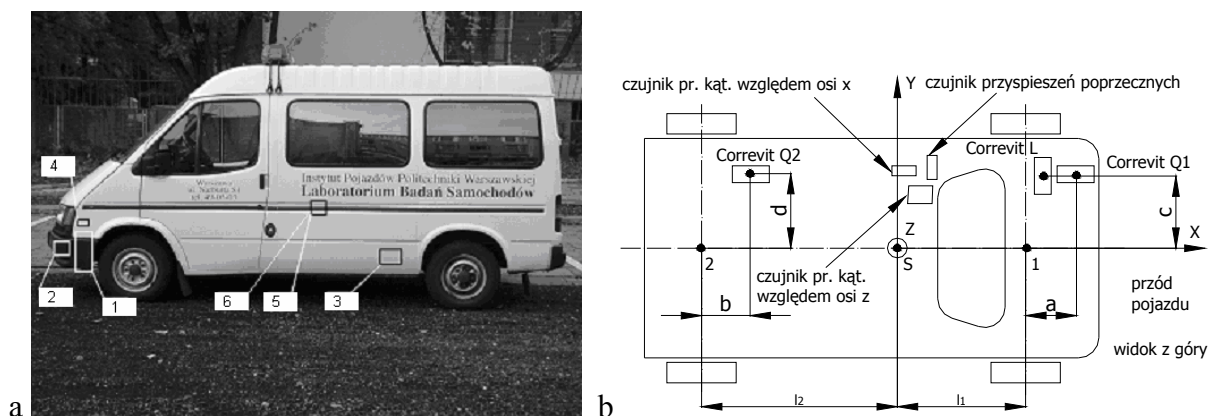
$$\ddot{y} = -\frac{K_1 + K_2}{mv} \dot{y} - \frac{K_1 l_1 - K_2 l_2 + m v^2}{mv} \dot{\psi} + \frac{1}{m} (F_y + K_1 \delta_1 + K_2 \delta_2), \quad (1)$$

$$\ddot{\psi} = -\frac{K_1 l_1^2 + K_2 l_2^2}{z J v} \dot{\psi} - \frac{K_1 l_1 - K_2 l_2}{z J v} \dot{y} + \frac{1}{z J} (M_z + K_1 l_1 \delta_1 - K_2 l_2 \delta_2). \quad (2)$$



części nadwozia umieszczono drugą głowicę Correvit-Q do pomiarów prędkości poprzecznej (3). We wnętrzu pojazdu zamontowano bezwładnościowy czujnik przyspieszeń poprzecznych (5) oraz 2 piezoelektryczne czujniki prędkości kątowej względem pionowej i podłużnej osi pojazdu (6).

Dla prawidłowego wyznaczenia prędkości kątowej samochodu na podstawie sygnałów z czujników Correvit-Q konieczna jest znajomość ich położenia w samochodzie. Rozmieszczenie tych czujników prędkości przedstawiono na rys. 2b.



Rys. 2. Rozmieszczenie w samochodzie elementów układu pomiarowego: a – widok z boku: głowica Correvit-L (1), głowica Correvit-Q przednia (2), głowica Correvit-Q tylna (3), obrotowy nadajnik impulsowy kąta obrotu kierownicy (4), czujnik przyspieszeń poprzecznych (5), piezoelektryczne czujniki prędkości kątowej (6); b – widok z góry  
 Fig. 2. Layout of the measurement system in the vehicle: a – side view: Correvit-L sensor (1), front Correvit-Q sensor (2), rear Correvit-Q sensor (3), steering wheel angle sensor (4), lateral acceleration sensor (5), yaw velocity sensor (6); b – top view

Na podstawie zmierzonych za pomocą czujników Correvit-Q prędkości poprzecznych  $v_{Q1}$  i  $v_{Q2}$ , możliwe jest wyznaczenie prędkości kątowej pojazdu względem jego osi pionowej

$$\dot{\psi} = \frac{v_{Q1} - v_{Q2}}{l_1 + l_2 + a - b} \quad (3)$$

oraz prędkości poprzecznych osi przedniej  $v_{1y}$

$$v_{1y} = v_{Q2} + \frac{v_{Q1} - v_{Q2}}{l_1 + a + l_2 - b} (l_1 + l_2 - b) \quad (4)$$

i tylnej  $v_{2y}$

$$v_{2y} = v_{Q2} + \frac{v_{Q1} - v_{Q2}}{l_1 + a + l_2 - b} (-l_2 + l_2 - b), \quad (5)$$

a także prędkości poprzecznej środka masy  $v_{ys}$ .

$$v_{ys} = v_{Q2} + \frac{v_{Q1} - v_{Q2}}{l_1 + a + l_2 - b} (l_2 - b). \quad (6)$$

### 3. Wyznaczenie charakterystyk opon

Ze względu na zastosowanie płaskiego dwuwymiarowego modelu ruchu pojazdu, charakterystyki opon są tu zdefiniowane jako zależność pomiędzy siłą boczną działającą na oś a kątem znoszenia kół tej osi. Siły działające na lewe oraz prawe koło nie są tu rozróżnione.

Do wyznaczenia charakterystyk znoszenia opon wykorzystano fragmenty jazdy ruchem krzywoliniowym w stanie ustalonym, np. po okręgu o stałym promieniu ( $R = 20$  m), z różnymi stałymi dla danej próby prędkościami (zgodnie z normą ISO 4138 [6]).

Kąty znoszenia kół osi przedniej oraz tylnej wyznaczono na podstawie otrzymanych ze wzorów (4) i (5) prędkości poprzecznych  $v_{1y}$  i  $v_{2y}$  oraz kąta skrętu kół przednich  $\delta_1$ . Zależności pomiędzy tymi wielkościami opisane są następującymi wzorami:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{v_{1y}}{v} - \delta_1, \quad (7)$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{v_{2y}}{v_x}. \quad (8)$$

Przy wyznaczaniu kąta znoszenia kół przednich  $\alpha_1$  (wzór (7)) nie został uwzględniony wpływ sztywności układu kierowniczego. Oznacza to, że kąt skrętu kół osi przedniej  $\delta_1$  obliczono bezpośrednio jako iloraz kąta obrotu wałka wejściowego przekładni kierowniczej, gdzie dokonywano pomiaru, i średniego przełożenia układu kierowniczego  $i_k$ .

Przy stałej prędkości podłużnej oraz kątowej, siłę poprzeczną  $F_0$  działającą w środku masy samochodu można określić następująco:

$$F_0 = ma_y, \quad (9)$$

gdzie:  $a_y$  – zmierzone przyspieszenie poprzeczne,  $m$  – masa pojazdu.

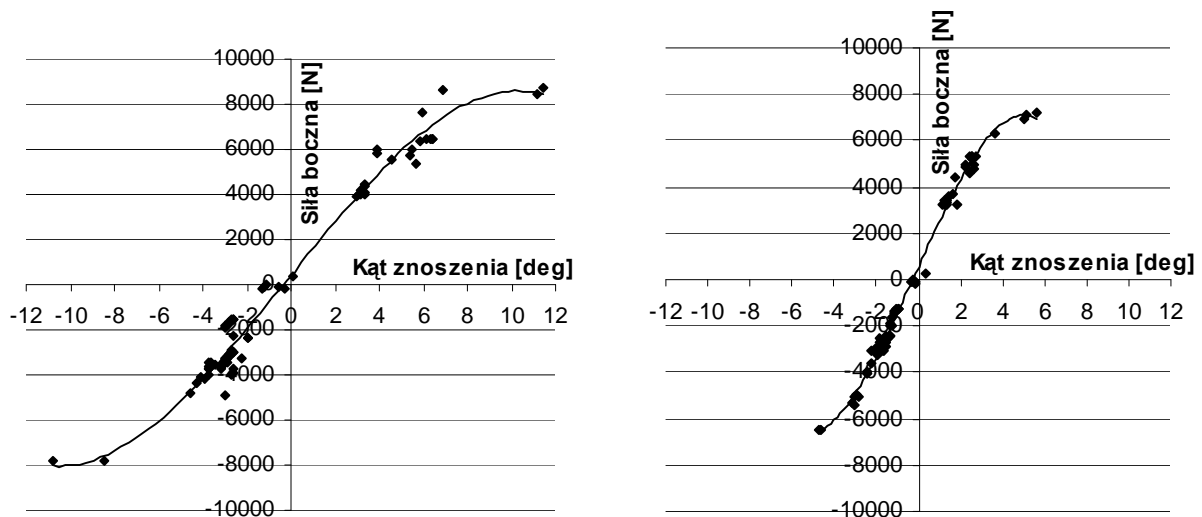
Zakładając statyczny rozkład siły poprzecznej pomiędzy osie można obliczyć siły poprzeczne obciążające przednią i tylną oś w następujący sposób:

$$Y_1 = \frac{F_0 l_2}{l_1 + l_2}, \quad (10)$$

$$Y_2 = \frac{F_0 l_1}{l_1 + l_2}, \quad (11)$$

gdzie:  $l_1$  i  $l_2$  – odległości środka masy od osi przedniej tylnej (rys. 1).

Otrzymane charakterystyki opon przedstawione są na rys. 3. Z przyjętego sposobu wyznaczania kątów znoszenia wynika, że kąty znoszenia, występujące tu jako współrzędne wykresów, uwzględniają nie tylko zmianę kierunku prędkości danej osi, wynikającą z własności opon, ale także wpływ podatności zawiesznień i układu kierowniczego.

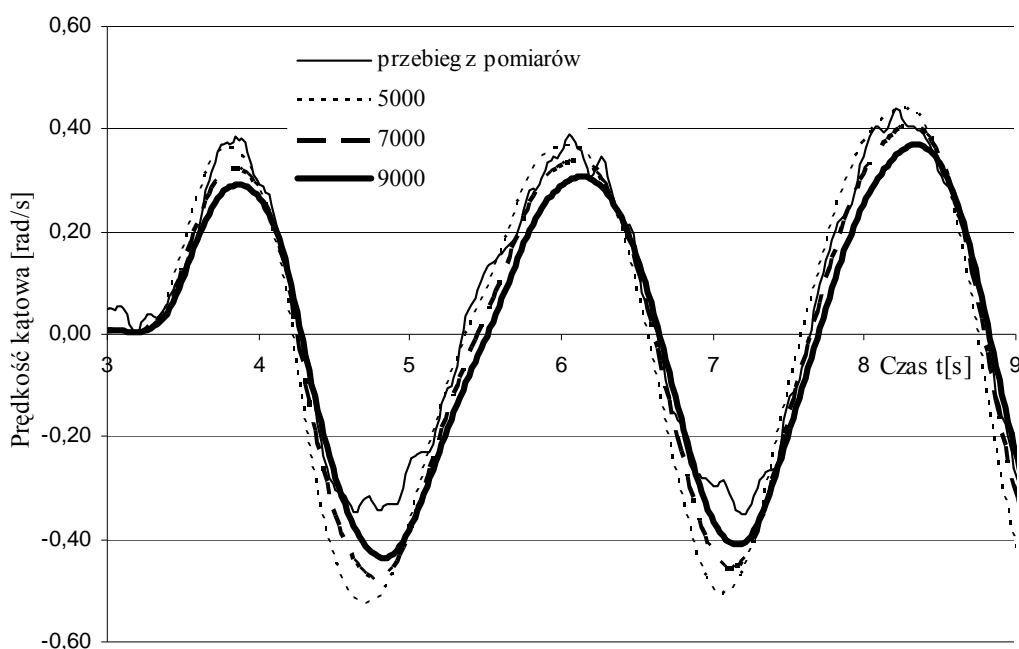


Rys. 3. Charakterystyki opon kół osi przedniej (z lewej) i tylnej (z prawej), opony 185R14C  
Fig. 3. Tires characteristics of front axle (left) and rear axle (right), tires 185R14C

#### 4. Wyznaczanie masowego momentu bezwładności

Przedstawiona metoda identyfikacji masowego momentu bezwładności pojazdu polega na porównywaniu wyników badań trakcyjnych z rezultatami obliczeń komputerowych przeprowadzonych dla wielu wartości masowego momentu bezwładności pojazdu względem jego osi pionowej. Do obliczeń użyto płaskiego dwuwymiarowego modelu, przedstawionego na rys. 1 i opisanego układem równań (1) i (2). W obliczeniach wykorzystano charakterystyki opon wyznaczone uprzednio na podstawie badań trakcyjnych samochodu w ruchu po okręgu (rys. 3).

W celu otrzymania możliwie najlepszych wyników, wybrano takie próby drogowe, dla których można było zaobserwować najwyższe przyspieszenia kątowe i gdzie należało się spodziewać największego wpływu momentu bezwładności, np. slalom, podwójna zmiana pasa ruchu. Następnie te same próby drogowe zasymulowano na komputerze. W obliczeniach jako sygnały wejściowe wykorzystano kąt skrętu kół przednich oraz prędkość podłużną pojazdu, zarejestrowane podczas odpowiednich prób drogowych. Obliczenia powtarzano dla różnych wartości masowego momentu bezwładności pojazdu. Przykładowe wyniki próby drogowej i odpowiednich obliczeń komputerowych przedstawiono na rys. 4 jako przebiegi czasowe prędkości kątowej samochodu w czasie jazdy slalomem.



Rys. 4. Zmierzone w badaniach drogowych i obliczone dla różnych wartości momentu bezwładności ( $J_z = 5000, 7000$  i  $9000 \text{ kgm}^2$ ) przebiegi prędkości kątowej pojazdu

Fig. 4. Comparison of yaw velocity curve obtained from a road test with curves obtained from calculations for different values ( $J_z = 5000, 7000$  and  $9000 \text{ kgm}^2$ ) of yaw moment of inertia

Aby oszacować moment bezwładności samochodu względem osi pionowej poszukiwano takiej wartości tego momentu, przyjętej do obliczeń, dla której różnice pomiędzy wynikami pomiarów a wynikami symulacji komputerowej będą najmniejsze. W tym celu dla każdej zadanej w symulacji wartości masowego momentu bezwładności  $J_z$  obliczono wartości średnie z wartości bezwzględnych różnic  $\Delta\omega$  pomiędzy prędkościami kątowymi, wyznaczonymi w pomiarach oraz w wyniku obliczeń komputerowych, w następujący sposób:

$$\Delta\omega = \frac{\sum_{i=1}^n |\omega_{pomi} - \omega_{mod i}|}{n}, \quad (12)$$

gdzie:

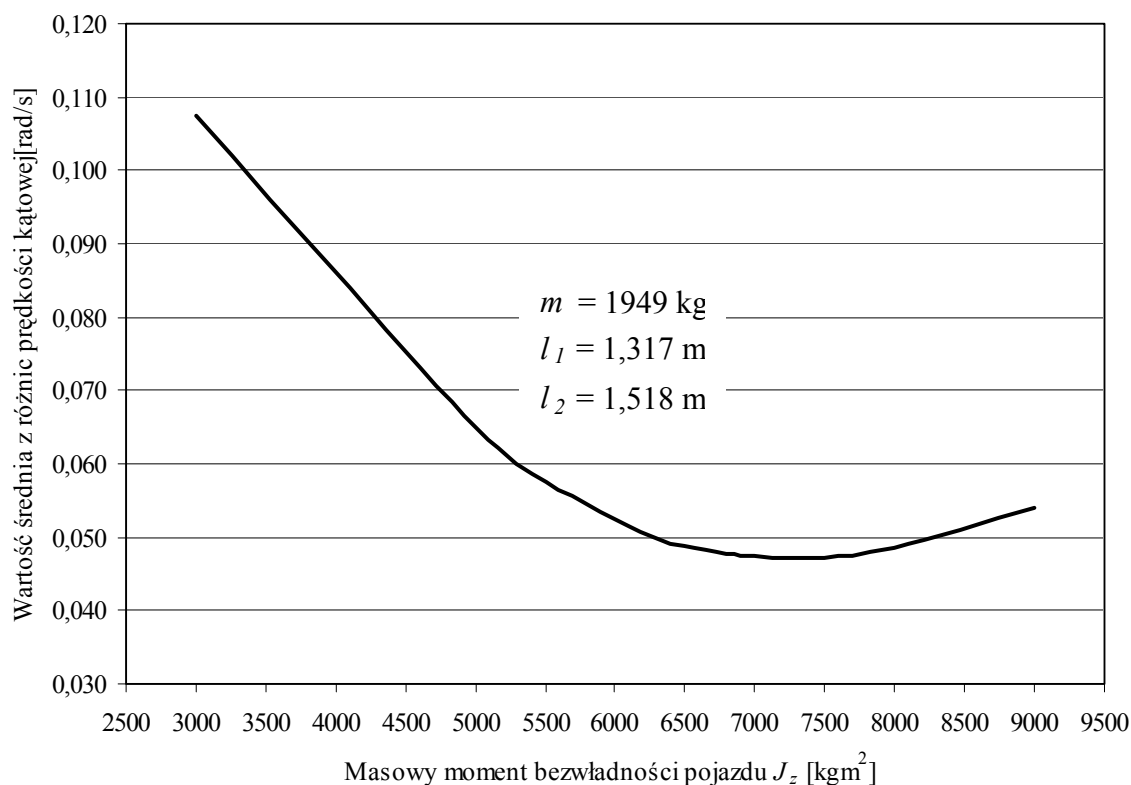
$i$  – bieżący analizowany punkt pomiarowy,

$n$  – liczba analizowanych punktów pomiarowych,

$\omega_{mod i}$  – bieżąca wartość symulacyjnej prędkości kątowej pojazdu,

$\omega_{pom i}$  – bieżąca wartość prędkości kątowej pojazdu otrzymanej z pomiarów.

Na rys. 5 przedstawiono wykresy średnich różnic prędkości kątowej otrzymanych w wyniku pomiarów i w wyniku symulacji komputerowej w zależności od przyjętej do obliczeń wartości momentu bezwładności  $J_z$ . Wartość momentu bezwładności pojazdu, dla której występuje minimalna wartość średniej z różnic prędkości kątowej pojazdu, może być uznana za oszacowanie momentu  $J_z$ . Na przykład, jak wynika z rys. 5, szacunkowa wartość momentu bezwładności  $J_z$  jest równa około 7300  $\text{kgm}^2$ .



Rys. 5. Wartości średnie różnic prędkości kątowej pojazdu w zależności od momentu bezwładności  
Fig. 5. Average values of differences of measured and calculated yaw velocity as a function of yaw moment of inertia

## 5. Wyznaczanie trajektorii ruchu pojazdu

Przedstawiony w rozdz. 2 system pomiarowy może być także zastosowany do odtwarzania trajektorii ruchu pojazdu na podstawie zarejestrowanych sygnałów z czujników umieszczonych w pojeździe. Szczególną cechą stosowanego układu pomiarowego jest możliwość pomiaru, bardzo istotnej dla wyznaczania trajektorii ruchu pojazdu, prędkości kątowej na dwa sposoby: bezpośrednio piezoelektrycznym czujnikiem prędkości kątowej lub pośrednio na podstawie prędkości poprzecznych dwóch punktów samochodu, zmierzonych za pomocą głowic Correvit-Q, z wykorzystaniem wzoru (3).

Na obecnym etapie prac do rekonstrukcji trajektorii jest wykorzystywany płaski model ruchu pojazdu (rys. 1). Zarejestrowane sygnały prędkości podłużnej oraz prędkości kątowej są całkowane w celu uzyskania odpowiednich przemieszczeń liniowych oraz kątowych bryły

nadwozia samochodu w układzie związanym z drogą. W przypadku całkowania prędkości kątowej, w celu uzyskania wartości kąta obrotu samochodu, zastosowana została metoda Simpsona [5]

$$\psi_i = \psi_{i-1} + \frac{\Delta t}{6} \left( \dot{\psi}_{i-1} + 4\dot{\psi}_i + \dot{\psi}_{i+1} \right). \quad (13)$$

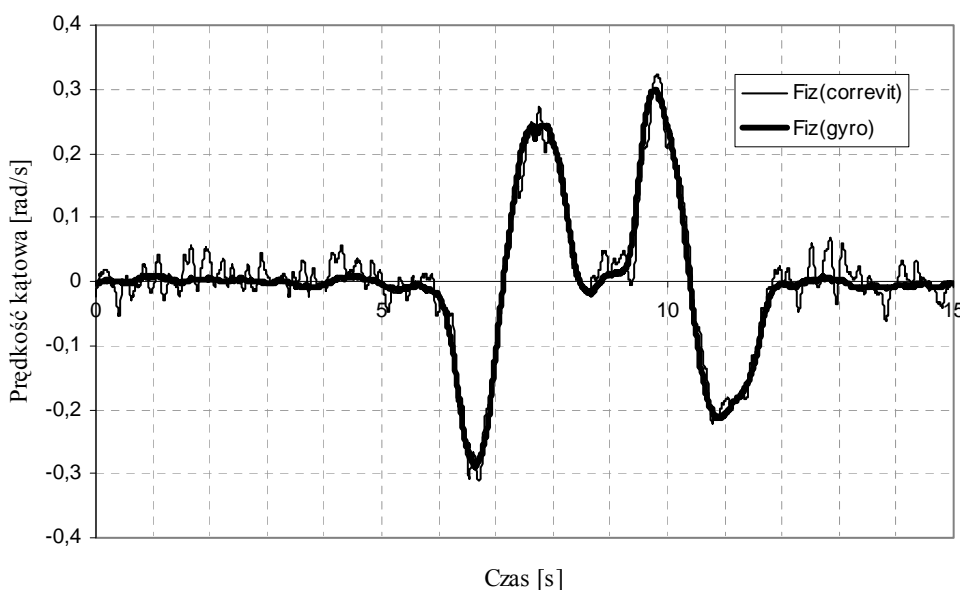
Natomiast składowe prędkości podłużnej  $v_L$  są całkowane metodą prostokątów (indeks  $i$  oznacza kolejny numer próbki).

$$x_i = x_{i-1} + v_{Li} \cos(\psi_i) \Delta t \quad (14)$$

$$y_i = y_{i-1} + v_{Li} \sin(\psi_i) \Delta t \quad (15)$$

Całkowanie składowych prędkości podłużnej z uwzględnieniem kąta obrotu bryły nadwozia względem osi układu współrzędnych związanego z drogą pozwala wyznaczyć chwilową wartość współrzędnej podłużnej i poprzecznej w tymże układzie.

Na rys. 6 przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe prędkości kątowej samochodu wyznaczonej bezpośrednio za pomocą czujnika prędkości kątowej i wyznaczonej na podstawie prędkości poprzecznych dwóch punktów samochodu, otrzymane w czasie testu podwójnej zmiany pasa ruchu [7]. Z porównania wykresów widać, że ogólny przebieg krzywych jest bardzo zbliżony. Jednocześnie można stwierdzić, że w przebiegu prędkości kątowej otrzymanej na podstawie prędkości poprzecznych występują oscylacje o większej częstotliwości. Można to wyjaśnić występowaniem zakłóceń lub oddziaływaniem przechyłów poprzecznych, które wpływają na sygnały generowane przez głowice Correvit-Q.



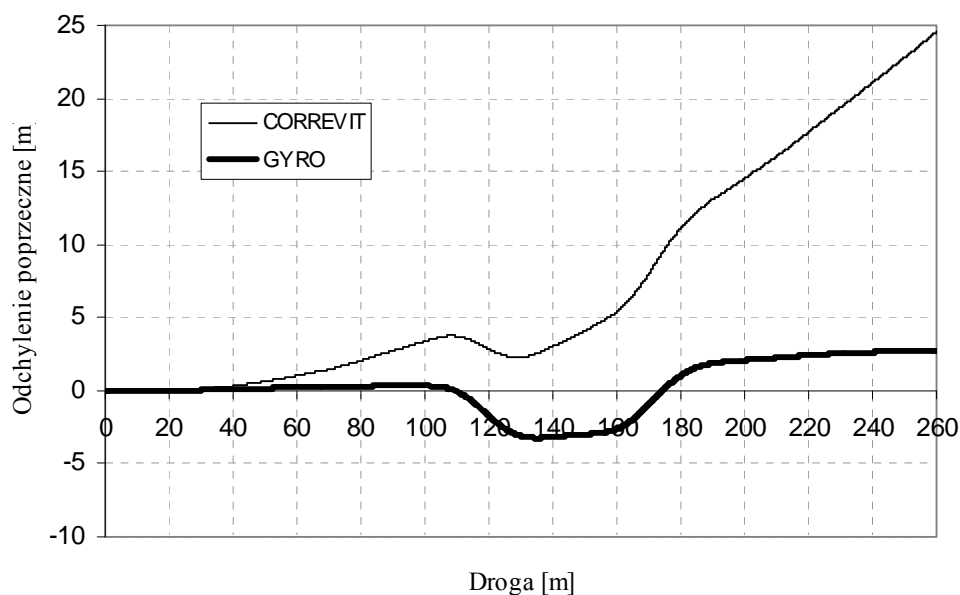
Rys. 6. Przebiegi czasowe prędkości kątowej samochodu, otrzymane na podstawie sygnałów z czujników Correvit-Q i z czujnika prędkości kątowej (gyro). Podwójna zmiana pasa ruchu

Fig. 6. Time domain curves of yaw velocity obtained on the basis of signals from two Correvit-Q sensors and from a yaw velocity sensor (gyro). Double lane change procedure

Wykorzystując wzory (13) do (15), można na podstawie zarejestrowanych sygnałów odtworzyć trajektorię ruchu samochodu. Na rys. przedstawiono trajektorie ruchu samochodu w teście podwójnej zmiany pasa ruchu, odtworzone na podstawie sygnału z czujnika prędkości kątowej i na podstawie sygnałów z głowic Correvit-Q. Widać istotne różnice w przebiegu tak wyznaczonych trajektorii. I choć obie w znacznym stopniu odbiegają od spodziewanego przebiegu



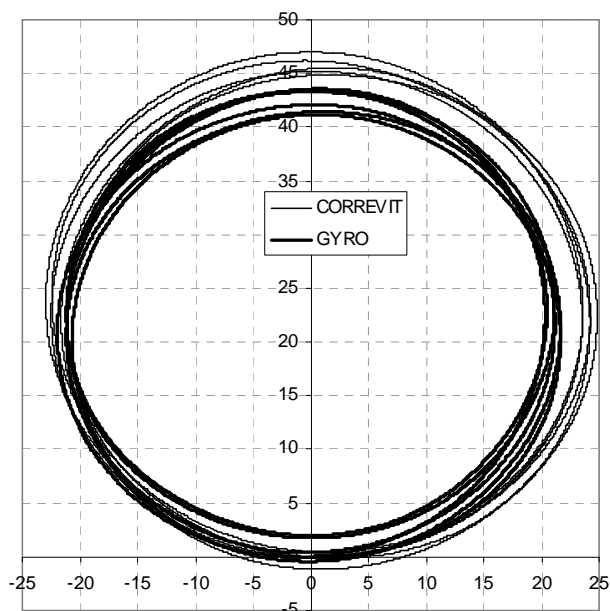
(odcinek wejściowy i wyjściowy powinny leżeć na jednej prostej), to mniejszy błąd (ok. 3 m odchylenia na drodze 250 m) występuje w przypadku trajektorii wyznaczonej na podstawie prędkości kątowej otrzymanej bezpośrednio z czujnika prędkości kątowej.



Rys. 7. Trajektorie ruchu manewru podwójnej zmiany pasa ruchu, wyznaczone na podstawie sygnałów z czujników Correvit-Q i z czujnika prędkości kątowej (GYRO)

Fig. 7. Trajectories of double lane change procedure obtained on the basis of signals from Correvit-Q sensors and from yaw velocity sensor (GYRO)

W podobny sposób odtworzone zostały trajektorie ruchu po okręgu o średnicy 40 m (rys. 8). Także i w tym przypadku lepszy wynik otrzymano, obliczając trajektorię ruchu na podstawie sygnałów z czujnika prędkości kątowej.



Rys. 8. Jazda po okręgu. Porównanie trajektorii ruchu otrzymanych na podstawie sygnałów z głowic Correvit-Q i czujnika prędkości kątowej (GYRO)

Fig. 8. Cornering on the circle. Comparison of trajectories obtained on the basis of signals from Correvit-Q sensors and from yaw velocity sensor

## 6. Podsumowanie

- Przedstawiony w opracowaniu układ pomiarowy umożliwia na podstawie badań drogowych
- wyznaczanie charakterystyk opon,
  - oszacowanie masowego momentu bezwładności pojazdu względem pionowej osi z,
  - odtworzenie trajektorii ruchu pojazdu.

Zaprezentowane w pracy metody pomiarowe mają szereg ograniczeń:

- Wyznaczone przedstawioną metodą charakterystyki opon opisują właściwości par opon odpowiednio osi przedniej oraz tylnej, nie zaś każdego z kół oddzielnie. Nie uwzględniają rozdziału obciążeń poprzecznych i pionowych pomiędzy koło lewe i prawe oraz zmian kąтового ustawienia kół względem siebie (zmian zbieżności) i zmian kąta pochylenia kół względem jezdni. Ponadto sposób wyznaczania kątów znoszenia sprawia, że charakterystyki opisują nie tylko własności samych opon, ale także wpływ podatności zawiesznień i układu kierowniczego.
- Na błąd szacowania masowego momentu bezwładności pojazdu mogą wpływać nieuwzględniane tu przechyły poprzeczne nadwozia względem osi podłużnej, a dokładniej względem osi przechyłu, która zwykle nie jest równoległa do płaszczyzny jezdni, oraz wykorzystanie w obliczeniach charakterystyk opon wyznaczonych w warunkach ruchu ustalonego zamiast znacznie trudniejszych do uzyskania charakterystyk, opisujących własności opon w stanie nieustalonym. Wyniki wyznaczonego w ten sposób momentu bezwładności powinny być zweryfikowane w pomiarach stanowiskowych (np. metodą wahadła [1]).

Należy jednocześnie zaznaczyć, że w przypadku wykorzystywania danych samochodu wyznaczanych zaprezentowanymi metodami do obliczeń prowadzonych z użyciem płaskiego modelu pojazdu (rys. 1) można zaakceptować charakterystyki opon, reprezentujące łącznie własności lewego i prawego koła każdej z osi, oraz moment bezwładności względem osi pionowej, oszacowany bez uwzględniania przechyłów poprzecznych.

Lepszą dokładność rekonstrukcji trajektorii ruchu pojazdu można by uzyskać wykorzystując do obliczeń przestrzenny model pojazdu i pomiar prędkości obrotu samochodu względach trzech osi. Pozwoliłyby to na uwzględnienie nie tylko prędkości podłużnej oraz prędkości kątowej wokół pionowej osi pojazdu, ale również przechyłów poprzecznych i podłużnych nadwozia, co wydaje się być kluczowym problemem dla rozpatrywanego zagadnienia [2]. Praktyczne rozwiązanie problemu odtwarzania trajektorii ruchu pojazdu na podstawie sygnałów uzyskanych z prostych czujników, umieszczonych w pojeździe, może zostać wykorzystane w budowie rejestratorów parametrów ruchu pojazdu, tzw. „czarnych skrzynek”.

## Literatura

- [1] Gernet, M. M., Ratobylskij, B. F., *Opredelenje momentow inercji. Maszynostrojenje*. Moskwa 1969.
- [2] Guzek, M., Lozia, Z., *Rekonstrukcja trajektorii ruchu pojazdu na podstawie zapisów „czarnych skrzynek” – badania symulacyjne*. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2(57)/2005.
- [3] Lozia, Z., *Analiza ruchu samochodu dwuosowego na tle modelowania jego dynamiki*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1998.
- [4] Pokorski, J., Bieliński, M., *System pomiarowy do badania stateczności pojazdu*. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, 4(51)/2003. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2003.
- [5] Rosłonec, S., *Wybrane metody numeryczne z przykładami zastosowań w zadaniach inżynierskich*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2002.
- [6] ISO 4138 „Road Vehicles – Steady State Circular Test Procedure”. 1982.

- [7] ISO TR 3888 „*Road Vehicles – Test Procedure for a Severe Lane – Change Manoeuvre*”.  
1975.

