

mgr inż. Przemysław Dąbek  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów w Warszawie

## **STANOWISKO DO IDENTYFIKACJI PARAMETRÓW OGUMIENIA ROBOTA MOBILNEGO SCOUT**

*W pracy przedstawiono stanowisko do badań opon samochodów osobowych zaadaptowane do badań ogumienia robota mobilnego. Badania te stanowią ważny krok w kierunku opracowania modelu matematycznego opony robota mobilnego. Opisano zasadę działania stanowiska oraz sposób prowadzenia pomiarów, jak również zawarto wyniki badań wstępnych opony robota na zmodyfikowanym stanowisku. Na podstawie tych badań potwierdzono przydatność stanowiska w pracach zmierzających do opracowania fizycznego modelu opony robota mobilnego typu SCOUT.*

### **A STAND FOR PARAMETERS IDENTIFICATION OF TYRE OF THE MOBILE ROBOT SCOUT**

*The paper concerns the adaptation of a stand for investigations of passenger car tyres to the needs of investigations of mobile robot tyres. The work is a step towards devising a mathematical model of the tyre. The principle of operation of the stand and means of measurement are described. Preliminary results of investigation of the robot tyre on the modified stand are included. Based on these results the possibility of investigating the SCOUT robot tyre on the stand after modifications is confirmed.*

#### **1. WPROWADZENIE**

Niezbędnym elementem każdego pojazdu kołowego jest układ jezdny. Z kolei kluczowym elementem układu jezdnego mającym wpływ na własności dynamiczne pojazdu jest opona współpracująca z nawierzchnią. O wadze opisu zagadnienia interakcji opony z podłożem świadczy fakt, że skojarzenie cierne opona-nawierzchnia jest obiektem zainteresowań badawczych od ponad 50 lat [3, 4, 7].

Niektórzy badacze oceniają obecny poziom wiedzy dotyczącej gumowych opon samochodowych za wystarczający, aby rozpocząć prace mające na celu stworzenie kompletnego modelu fizycznego opony gumowej [6]. Jednak pewne zagadnienia z tego zakresu wciąż nie zostały w sposób satysfakcjonujący opisane. Dlatego opracowanie takiego modelu ma walory zarówno poznawcze w zakresie badań podstawowych, jak i użytkowe, szczególnie ze względu na fakt, że symulacje komputerowe dynamiki pojazdów stały się integralną częścią procesu projektowania samochodów. Do tej pory jednak nie opracowano kompletnego modelu fizycznego opony, łączącego opis praw fizyki materiałów z jej właściwościami użytkowymi.

W okresie ostatnich 10 lat obserwowany jest intensywny rozwój w dziedzinie robotów mobilnych [2, 5]. Rozwój pociąga za sobą potrzebę modelowania robotów, a w szczególności modelowania interakcji ich ogumienia z podłożem. Ogumienie robotów kołowych ma jednakże inne parametry niż ogumienie samochodów, co jest związane z innymi wymaganiami konstrukcyjnymi i użytkowymi wobec robotów. Dlatego rozwiązania modelowe w zakresie opon samochodowych nie mogą być bezpośrednio przeniesione i zastosowane w zakresie robotów mobilnych.

Niniejsza praca stanowi krok w stronę opracowania modelu ogumienia robota mobilnego SCOUT konstruowanego i produkowanego w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów w Warszawie. Jest ona wynikiem współpracy PIAP oraz Instytutu Pojazdów, Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Łódzkiej.

## 2. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań jest opona radialna charakteryzująca się szerokością 11,5 cm i średnicą osadzenia 11 cm (rys. 1). Ma ona oznaczenie symboliczne 115/55 R11. W opony tego typu wyposażone są roboty mobilne SCOUT.



Rys. 1. Opona robota mobilnego SCOUT

Jest to opona niepneumatyczna, co oznacza, że odpowiednią sztywność promieniową opony uzyskuje się poprzez wypełnienie przestrzeni powietrznej wewnątrz niej specjalną gąbką, a nie gazem pod odpowiednim ciśnieniem jak w typowych oponach samochodowych.

Opony stosowane w robotach są przeznaczone w szczególności do użytkowania na nawierzchniach nieutwardzonych. Opona posiada zatem bieżnik klockowy o wysokości 5 mm i grubej rzeźbie. Karkas opony wykonany jest z gumy o grubości ok. 2 mm. W kierunku obwodowym opona posiada 5 pierścieni wzmacniających (żeber) gumowych o wysokości 1,5 mm.

## 3. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko jest przeznaczone do:

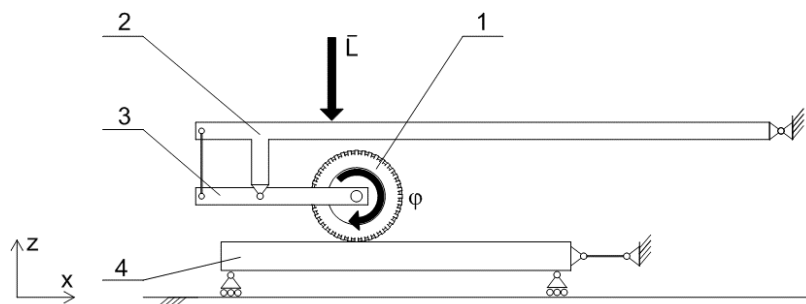
- identyfikacji sztywności i tłumienności wzdłużnej ogumienia
- badań ogumienia w procesie rozpędzania koła jezdnego ze stanu zatrzymania

Stanowisko daje możliwość zmiany nawierzchni, z którą współpracuje opona.

W niniejszej pracy skoncentrowano się na zagadnieniu identyfikacji sztywności wzdłużnej ogumienia.

### 3.1. Opis stanowiska

Schemat stanowiska badawczego pokazano na rys. 2.



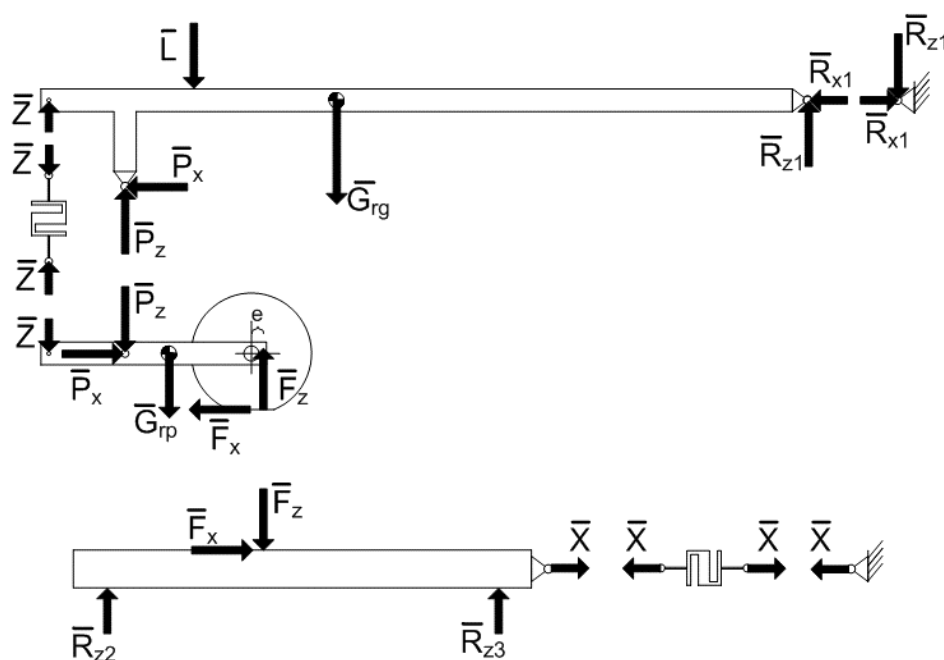
Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

Opona badana (1) jest poddawana wymuszeniu harmonicznemu kinematycznemu  $\varphi$ , co powoduje wywieranie siły na ruchomą bieżnię (4); siła mierzona jest przez przetwornik siły  $\mathbf{X}$  (pokazany dalej na rys. 3). Położenie osi koła w kierunku  $x$  nie zmienia się dzięki przegubowemu zamocowaniu ramy głównej stanowiska (2). Obciążenie pionowe osi koła można regulować poprzez obciążenie ramy głównej siłą  $\mathbf{L}$ . Pomiar wartości siły obciążenia pionowego jest prowadzony za pośrednictwem ramy pomocniczej (3) przez przetwornik siły  $\mathbf{Z}$  (rys. 3).

Wymuszenie kinematyczne opony uzyskuje się za pomocą silnika elektrycznego zasilanego poprzez przemiennik częstotliwości. Wał silnika wyposażony jest w tarczę z trzpieniem montowanym mimośrodowo, który powoduje ruch oscylacyjny dźwigni połączonej z osią koła badanego.

Pomiarowi podlegają: kąt obrotu obręczy koła badanego  $\varphi$ , kąt obrotu części karkasa stanowiącej podłoże dla bieżnika  $\gamma$ , siła styczna oddziaływania opony z bieżnią  $\mathbf{F}_x$ , siła normalna oddziaływania opony z bieżnią  $\mathbf{F}_z$ .

Na rys. 3 pokazano siły zewnętrzne (czynne i reakcje) oraz wewnętrzne (występujące na połączeniach ruchomych elementów konstrukcji) w układzie badawczym oraz umiejscowienie przetworników siły.



Rys. 3. Zasada pomiaru siły reakcji podłoża działającej na koło badane

Pomiar sił  $\mathbf{X}$  oraz  $\mathbf{Z}$  odbywa się za pomocą przetworników tensometrycznych siły rozciągającej.

Pomiar kąta  $\varphi$  odbywa się za pomocą przetwornika kątowno-kodowego. Pomiar kąta  $\gamma$  jest prowadzony przy pomocy laserowego czujnika odległościowego mierzącego odległość od ekranu sztywno związany z karkasem opony.

Układ akwizycji jest oparty o kartę DAQ przeznaczoną do współpracy z komputerem PC i umożliwia rejestrację wyników pomiarów z maksymalną częstotliwością próbkowania 12,5 kS/s na kanał pomiarowy.

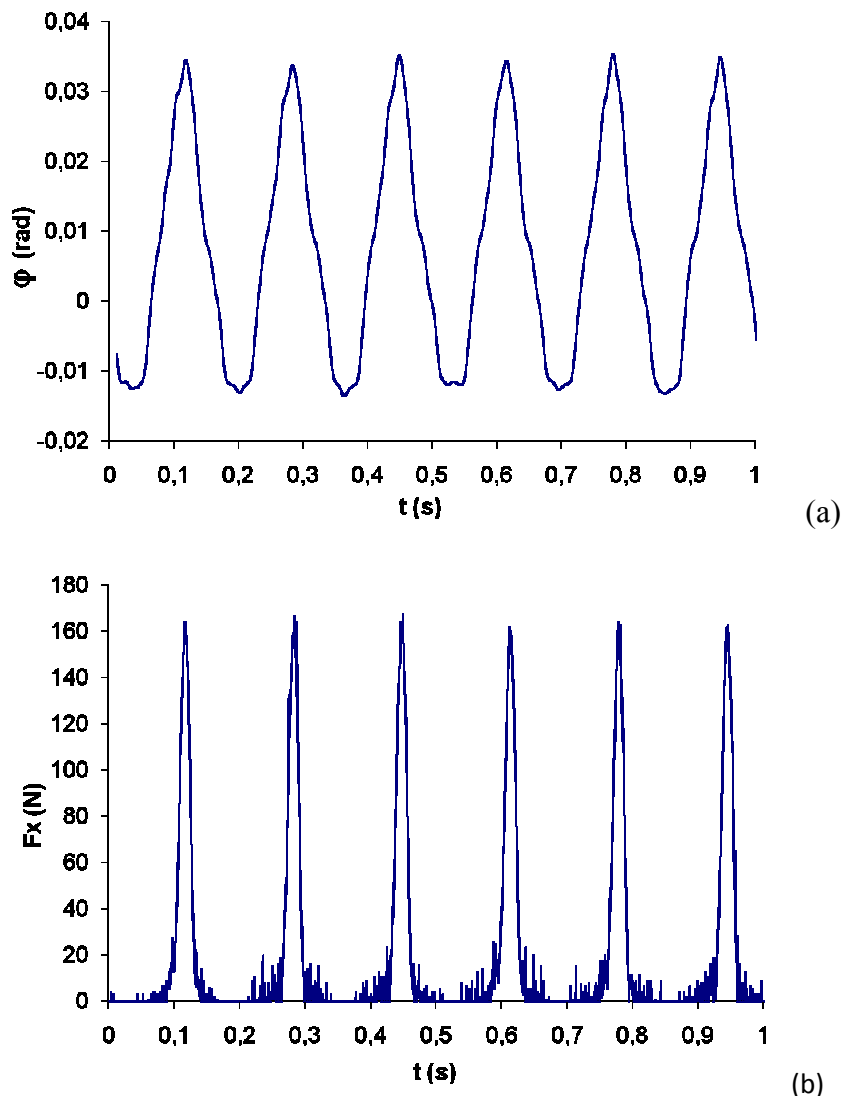
### 3.2. Adaptacja stanowiska

W celu przeprowadzenia badań opony robota mobilnego SCOUT, na stanowisku dokonano niezbędnych prac adaptacyjnych. Prace zostały przeprowadzone w dwóch zasadniczych obszarach: zmiany zakresu obciążeń pionowych osi koła oraz przystosowania stanowiska do współpracy z kołem o znacząco mniejszym rozmiarze i innym sposobie montażu w stosunku do koła samochodu osobowego.

W rezultacie prac m. in. zmniejszono bierne obciążenie pionowe osi koła badanego z ok. 800 N do 0 N, a tym samym uzyskano dowolną regulację obciążenia w zakresie od 0 do 300 N co spełnia wymogi obciążalności opony robota mobilnego.

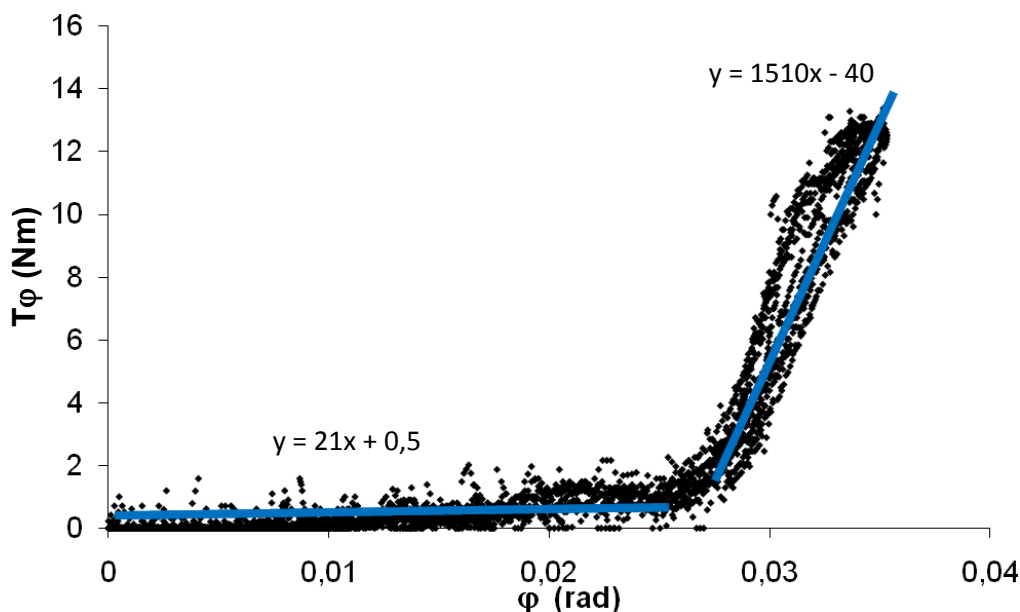
## 4. WYNIKI BADAŃ WSTĘPNYCH

Po przeprowadzeniu modyfikacji stanowiska poddano badaniu oponę robota SCOUT. Na rys. 4 pokazano wyniki badań wstępnych opony na zmodyfikowanym stanowisku.



Rys. 4. Wymuszenie harmoniczne kinematyczne kątem  $\varphi$ ,  $n = 6$  Hz (a) i odpowiedź  $F_x$ , przy średnim obciążeniu  $F_z = 210$  N (b)

Przebiegi czasowe wymuszenia i odpowiedzi pokazane na rys. 4 mają charakter zgodny z oczekiwanym i świadczą o powtarzalności pomiaru. Na podstawie zaprezentowanych danych można oszacować sztywność skrętną badanego ogumienia, co pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Zależność momentu skrętnego działającego na oponę  $T_\varphi$  od kąta skręcenia  $\varphi$

Na rys. 5 pokazano zależność momentu skręcającego  $T_\varphi$  przyłożonego do bieżnika opony od kąta skręcenia  $\varphi$ . Moment skręcający  $T_\varphi$  jest obliczany według zależności

$$T_\varphi = F_x \cdot r \quad (1)$$

gdzie  $r$  oznacza promień statyczny opony, którego wartość przyjęto na 0,08 m.

Rozkład punktów na wykresie ma charakter kawałkami liniowy i został aproksymowany metodą regresji liniowej przy pomocy dwóch prostych. Współczynniki kierunkowe prostych mają wymiar sztywności skrętnej i wynoszą 21 Nm/rad oraz 1510 Nm/rad. Kształt wykresu można interpretować w ten sposób, że dla kątów w zakresie od 0 rad do ok. 0,027 rad ugięciu ulega przede wszystkim bieżnik opony, a dla kątów powyżej 0,027 rad, dodatkowo karkas charakteryzujący się sztywnością o 2 rzędy wielkości większą niż bieżnik.

## 5. PODSUMOWANIE

W związku z potrzebą przeprowadzenia identyfikacji charakterystyki opony robota mobilnego SCOUT w celu opracowania modelu matematycznego opony dokonano adaptacji stanowiska do badań ogumienia będącego w dyspozycji Instytutu Pojazdów, Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Łódzkiej. Przeprowadzono badania wstępne opony robota mobilnego. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zmodyfikowane stanowisko pozwala na prowadzenie badań wspomnianej opony. Oszacowano wartości sztywności skrętnej bieżnika i karkasa opony, które wynoszą odpowiednio 21 Nm/rad i 1510 Nm/rad. Stwierdzono, że uzyskane wartości są mniejsze o odpowiednio 3 rzędy wielkości i 1 rząd wielkości w stosunku do analogicznych wartości dla typowej opony samochodu osobowego [1], co potwierdza konieczność prowadzenia badań opon stosowanych w robotach mobilnych.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Andrzejewski, R., *Stabilność ruchu pojazdów kołowych*, Warszawa, 1997.
- [2] Trojnacki, M., Szynkarczyk, P., Andrzejuk, A., *Tendencje rozwoju mobilnych robotów lądowych (1). Przegląd robotów mobilnych do zastosowań specjalnych*, Pomiary Automatyka Robotyka (2008), nr 6, s. 11-14.
- [3] Fiala, E., *Seitenkräfte am rollenden Luftreifen*. VDI-Zeitschrift (1954), nr 29.
- [4] Hadekel, R., *The mathematical characteristics of pneumatic tyres*. Ministry of supply, London, England, 1952.
- [5] Masłowski, A., *Nowe inicjatywy w robotyce*, Pomiary Automatyka Robotyka (2009), nr 2.
- [6] Mavros, G., *Tyre modelling: Current state-of-the-art, future trends and loose ends*. Seminarium Vehicle Dynamics and Control, Uniwersytet Cambridge (2009), dostępny pod adresem:  
[www2.eng.cam.ac.uk/~djc13/vehicledynamics/downloads/VDC2009\\_Mavros.pdf](http://www2.eng.cam.ac.uk/~djc13/vehicledynamics/downloads/VDC2009_Mavros.pdf)  
(stan z dnia 7.01.2010r).
- [7] Pacejka, H.B., *Tyre and Vehicle Dynamics*, Oxford, 2002.