

Jan WARCZEK

## METODA POMIARU PROMIENIA DYNAMICZNEGO KOŁA SAMOCHODOWEGO

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono metodę pomiaru promienia dynamicznego koła samochodowego. Podstawą opracowanej metody jest bezkontaktowy przetwornik szybkozmiennych przemieszczeń. Badania w warunkach normalnej eksploatacji przeprowadzono przy wykorzystaniu samochodu osobowego. Przedstawione wyniki potwierdzają przydatność opisanej procedury w badaniach podatności kół samochodowych.

## THE METHOD OF MEASUREMENTS DYNAMIC WHEEL RADIUS OF THE CAR

**Summary.** The paper presents method of dynamic wheel radius of the car measurement. The basis of this method is non-contact sensor fast-changing displacement. It was conducted research of the passenger car in condition of normal exploitation. The preliminary results confirm the usefulness of the described procedure in investigations of flexibility of car wheels.

### 1. WPROWADZENIE

W przybliżonych obliczeniach trakcyjnych pojazdu można przyjmować, że wartość promienia toczącego się koła jest równa wartości mierzonej na kole swobodnie wiszącym. Pomijany jest wtedy fakt, że promień dynamiczny jest zawsze mniejszy niż promień koła wiszącego w powietrzu. Zwiększenie dokładności wyników obliczeń jest możliwe poprzez uwzględnienie ugięcia się opony pod ciężarem pojazdu. Oprócz wymienionego obciążenia, w układzie statycznym wynikającego z masy pojazdu, przypadającej na dane koło na odkształcenia czoła opony w strefie kontaktu z podłożem wpływają również takie czynniki jak sztywność mieszanki gumowej, z której wykonano elementy opony, grubość i rzeźba bieżnika, średnica zewnętrzna opony (im większa, tym mniejsze odkształcenia czoła opony w strefie kontaktu) oraz ciśnienie wewnętrzne opony.

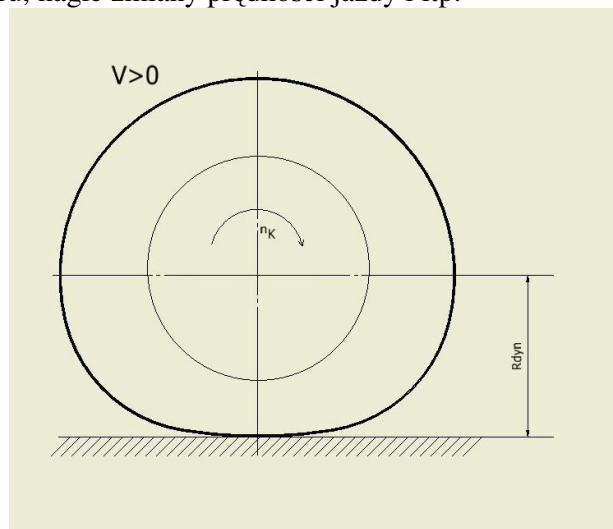
Przybliżony sposób obliczania wartości promienia dynamicznego koła jest następujący:

$$R_{dyn} = 0.97(H + r), \quad (1)$$

gdzie: H - wysokość opony, którą można wyznaczyć jako iloczyn szerokości opony i jej profilu;

r - promień obręczy koła.

W czasie jazdy, na skutek wpływu wielu czynników rzeczywista wartość promienia dynamicznego koła ulega ciągłym zmianom. Pomiar zmiennego w czasie promienia dynamicznego koła  $R_{dyn}$  wiąże się z koniecznością określenia odległości osi koła od nawierzchni drogi (rys. 1.). Zmiany wartości tego wymiaru są zwykle procesem szybkozmiennym, związanym z występującymi w układzie zawieszenia drganiami, powstającymi na skutek działania wymuszeń zewnętrznych i wewnętrznych. Do najistotniejszych źródeł wymuszeń zewnętrznych można zaliczyć nierówności nawierzchni drogi, podmuchy wiatru, nagłe zmiany prędkości jazdy i itp.



Rys. 1. Promień dynamiczny koła samochodowego

Fig. 1. Dynamic wheel radius of the car

Natomiast do wymuszeń wewnętrznych zalicza się źródła drgań, związane z pracą silnika i działaniem układu przeniesienia napędu, niewyważenia mas, będących w ruchu obrotowym (koła, tarcze i bębny hamulcowe i itp.). Istotnym również czynnikiem, wywołującym drgania kół jest nierównomierność rozkładu sztywności promieniowej opony na jej obwodzie. Wszystkie wymienione czynniki wpływają w czasie jazdy samochodu na rzeczywistą chwilową wartość promienia dynamicznego koła, która może znacznie odbiegać od wartości statycznej, wynikającej z ugięcia opony na skutek działania stałego obciążenia.

## 2. ANALIZA METOD BEZKONTAKTOWEGO POMIARU PRZEMIESZCZEŃ POD KĄTEM ICH ZASTOSOWANIA DO OKREŚLANIA WARTOŚCI PROMIENIA DYNAMICZNEGO KOŁA W CZASIE JAZDY

Układy bezstykowego pomiaru przemieszczeń składają się z trzech zasadniczych elementów:

- źródła promieniowania lub nadajnika fal elektromagnetycznych,
- odbiornika, którego funkcja polega na przetwarzaniu informacji zawartej w wiązce promieniowania, odbitej od powierzchni na określony rodzaj wielkości elektrycznej. W dalszej kolejności umożliwia to przetwarzanie sygnału pomiarowego, przy wykorzystaniu analogowych lub cyfrowych metod przetwarzania,
- ośrodka, w którym rozchodzi się dany rodzaj promieniowania – powietrze, woda, światłowód, szkło i itp.

W przypadku pomiarów dynamicznych, gdzie wymagana częstotliwość próbkowania przekracza 500 [Hz], dominują przyrządy bazujące na wykorzystaniu wiązki promieniowania świetnego. Istnieje kilka różnych metod pomiaru przemieszczeń, w których wykorzystywanym medium jest światło. W tych metodach stosuje się elementy optoelektroniczne oraz odpowiednie źródła światła, a różnice pomiędzy nimi wynikają z zastosowanych sposobów pomiaru.

W metodzie cienia mierzony przedmiot umieszczony jest w wiązce światła, skierowanej na przetwornik CCD typu liniowego lub powierzchniowego. Obraz projekcyjny, powstały na przetworniku, zawiera informacje o wymiarach mierzonego przedmiotu. Zakresy pomiarowe przyrządów, wykorzystujących tę metodę pomiaru są ograniczone rozmiarami przetworników CCD, natomiast jej zastosowanie w pomiarach promienia dynamicznego koła jest możliwe tylko w warunkach stanowiska laboratoryjnego.

Kolejna grupa metod pomiaru przemieszczeń wykorzystuje zjawisko zmiany długości czasu, potrzebnego na przebycie przez światło określonej drogi. Istnieją dwie odmiany tych metod, bazujące na wykorzystywaniu światła odbitego od powierzchni przedmiotu i metody skaningu. W metodzie skaningu, w trakcie pomiaru mierzony przedmiot zostaje umieszczony w obszarze przeczesywanym z określoną stałą prędkością przez wiązkę światła. Przesuwający się w przestrzeni pomiarowej promień świetlny zostaje przerywany na określony czas, związany z rozmiarami mierzonego przedmiotu. Odbiornik energii promienistej, umieszczony po drugiej stronie mierzonego przedmiotu, rejestruje te przerwy czasowe, które po uwzględnieniu prędkości przeczesywania przestrzeni pomiarowej można wykorzystać do określenia wymiarów mierzonego przedmiotu. Również ta metoda w pomiarach promienia dynamicznego koła jest stosowalna jedynie w warunkach stanowiskowych. W metodach wykorzystujących wiązkę promienia świetlnego, odbitego od powierzchni przedmiotu, informacja o przemieszczeniu jest pozyskiwana przez pomiar czasu, potrzebnego fotonom na przebycie drogi nadajnik-przedmiot-odbiornik (Time-of-Flight). W praktyce, w przyrządzie na fotoczuły element padają odpowiednio opóźniona wiązka pomiarowa oraz drugim światłowodem wiązka referencyjna. Pozwala to na synchronizację promienia pomiarowego z cyklem pomiarowym fotoodbiornika. Przetwornik pomiarowy wykorzystuje algorytm uśredniający wyniki poszczególnych próbek czasowych. Taka konstrukcja pozwala na skompensowanie wszystkich błędów, mogących powstać wewnątrz obudowy. Przyrządy wykorzystujące tę metodę na dzień dzisiejszy są bardzo kosztowne, a ich rozwiązania konstrukcyjne uniemożliwiają ich zastosowanie w warunkach obciążeń udarowych, występujących w zawieszeniu samochodu podczas jazdy.

Ciekawe rozwiązanie w zakresie pomiarów bezkontaktowych, z wykorzystaniem wiązki laserowej stanowią wibrometry laserowe. Zasada pomiaru za pomocą wibrometru opiera się na wykorzystaniu zjawiska Dooplera. Częstotliwość wiązki promienia laserowego odbitej od powierzchni przedmiotu ulega zmianie, w zależności od chwilowej wartości prędkości ruchu drgającego. Zmodulowana częstotliwość światła laserowego, padającego na fotoelement, umożliwia wyznaczenie sygnału czasowego, proporcjonalnego do prędkości drgań powierzchni przedmiotu, który po scałkowaniu pozwala uzyskać sygnał przemieszczeń drgań. Mankamentem tych przyrządów są ich duże gabaryty oraz konieczność ich zamocowania w statycznym układzie odniesienia, co jest praktycznie niewykonalne w czasie poruszania się pojazdu.

Kolejna metoda pomiaru przemieszczeń to ogniskowanie optyczne, które ze względu na zwłokę czasową ruchów obiektu można stosować tylko do pomiarów wolnozmiennych.

W pomiarach przemieszczeń (długości) z wykorzystaniem światła jako nośnika informacji można wyróżnić metody bazujące na zasadzie triangulacji. Układ pomiarowy składa się z źródła promieniowania, które emituje wiązkę światła, prostopadłą do mierzonej powierzchni oraz odbiornika, który znajduje się w jednej obudowie ze źródłem (odbiornik oddalony jest od

nadajnika o stałą odległość), a jego powierzchnia jest nachylona pod kątem ok. 25° względem osi wyjściowego promienia świetlnego. Wiązka światła odbita od przedmiotu pada na detektor CCD odbiornika. Posiadając taką informację można wyliczyć długość boku utworzonego w ten sposób trójkąta, która jest szukaną wartością przemieszczenia mierzonego przedmiotu. Przetworniki przemieszczeń, wykorzystujące metodę triangulacji, mają niewielkie rozmiary i odporność na obciążenia drganiowe.

W pomiarach przemieszczeń, przy znacznych prędkościach ruchów można stosować interferometrię laserową. Zasada pomiaru z wykorzystaniem interferencji wiązki laserowej polega (w pierwszej kolejności) na wykorzystaniu półprzezroczystego pryzmatu, który rozdziela wiązkę na dwie składowe, skierowane odpowiednio na zwierciadło (reflektor) stałe, umieszczone w danej odległości od pryzmatu i zwierciadło ruchome, które wykonuje przemieszczenia wraz z powierzchnią mierzonego przedmiotu. Po odbiciu od zwierciadeł obie wiązki wracają do pryzmatu, gdzie następuje ich nakładanie. Różna długość dróg propagacji promieni świetlnych skutkuje powstawaniem prążków interferencyjnych na powierzchni pryzmatu. Przesunięciem zwierciadła ruchomego towarzyszy przesuwanie się układu prążków interferencyjnych, co umieszczony w tym obszarze fotelement sygnalizuje wygenerowaniem sygnału elektrycznego, odpowiadającego zmianom natężenia światła. Wartość przesunięcia  $\Delta s$  jest wyznaczana z zależności:

$$\Delta s = n \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

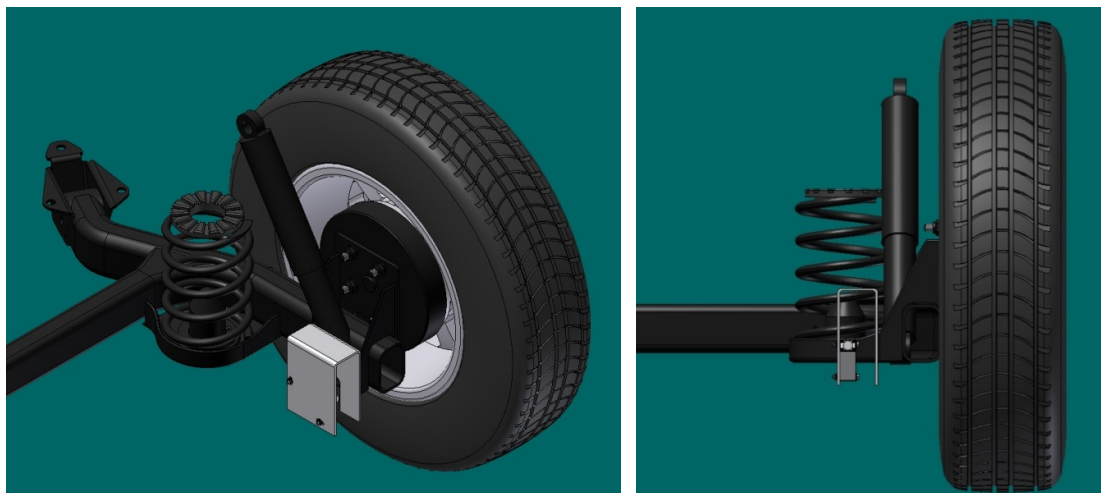
gdzie:  $n$  – liczba impulsów wygenerowanych przez fotodetektor,  
 $\lambda$  – długość fali zastosowanego promieniowania.

Konieczność stosowania zwierciadła ruchomego, w przypadku pomiaru promienia dynamicznego, powiązanego z nawierzchnią drogi w warunkach normalnej eksploatacji pojazdu jest oczywiście niewykonalne.

Spośród wymienionych metod bezkontaktowego pomiaru przemieszczeń najlepsze cechy, umożliwiające aplikację w badaniach zmian promienia dynamicznego w czasie jazdy wykazują laserowe przetworniki triangulacyjne.

### **3. OBIEKT BADAŃ I METODA POMIARU PROMIENIA DYNAMICZNEGO KOŁA**

Obiektem badań było koło pneumatyczne tylnej osi samochodu osobowego. Opracowana metoda zakłada określanie w czasie jazdy długości odcinka zawartego pomiędzy płaszczyzną zawierającą oś obrotu koła a powierzchnią drogi. Ze względu na minimalizację wpływu poprzecznego pochylenia nawierzchni drogi przetwornik przemieszczeń został zamocowany w bezpośrednim sąsiedztwie badanego koła. Punkt mocowania jest powiązany z przestrzennym położeniem osi koła. W badaniach zastosowano przetwornik przemieszczeń typu ILD1402-200. Cały proces pomiaru odbywa się w sposób bezkontaktowy, co umożliwia pozyskiwanie informacji o bieżących wartościach promienia dynamicznego w układzie dynamicznym. Widok zaproponowanego projektu mocowania przetwornika przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Widok modelu zawieszenia samochodu badawczego wraz z zaprojektowanym systemem mocowania czujnika przemieszczeń

Fig. 2. View of model of suspension investigative car with designed system fixing the sensor of displacements

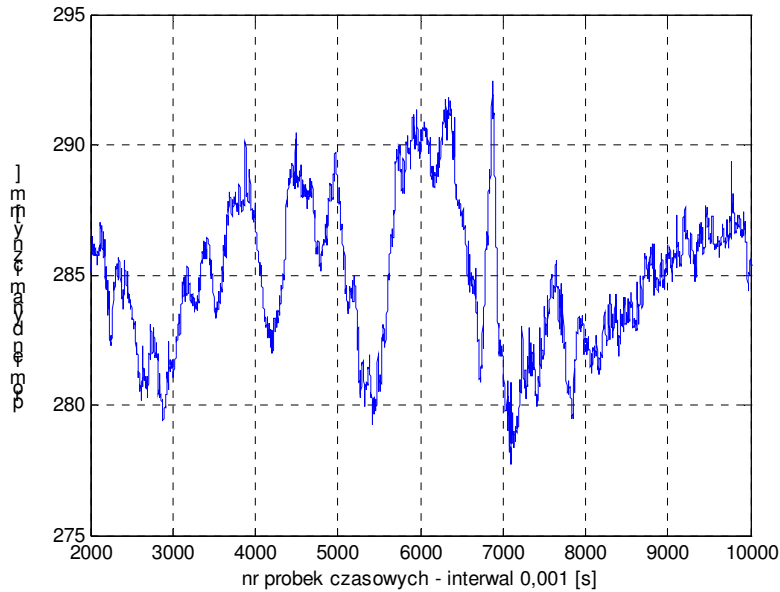
W celu ochrony przed uderzeniami czujnik przemieszczeń został zabudowany w stalowej konsoli, która jednocześnie stanowi podstawę mocowania czujnika przyspieszeń drgań. Widok zestawu pomiarowego, zamocowanego na pojeździe badawczym przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Widok zestawu przetworników pomiarowych zamocowanych w pojeździe badawczym

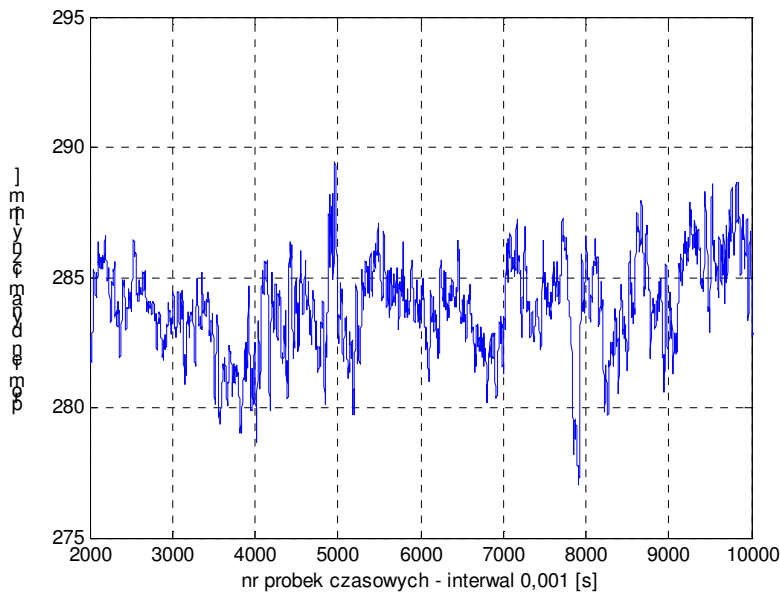
Fig. 3. View of set of measuring transducers fixed in investigative vehicle

W trakcie eksperymentów rejestrowano synchronicznie przebiegi czasowe zmian odległości czujnika przemieszczeń od nawierzchni drogi oraz przyspieszenia drgań masy nieresorowanej. Analiza amplitud przyspieszeń pozwoliła określić fragmenty czasowe, w których wystąpiły skokowe zmiany profilu nawierzchni drogi, powodujące duże obciążenia dynamiczne koła. Z zarejestrowanych przebiegów czasowych przemieszczeń, po uwzględnieniu stałego przesunięcia pomiędzy osią koła a początkiem zakresu pomiarowego czujnika laserowego wyznaczono przebiegi czasowe zmian promienia dynamicznego koła. Zakłócenia pomiarowe spowodowane mikroprofilem nawierzchni drogi usunięto za pomocą dolnoprzepustowej filtracji, z wykorzystaniem filtru FIR. Przykładowe wyniki, uzyskane przy różnych prędkościach jazdy przedstawiono na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Wykres zmian promienia dynamicznego koła o nominalnym ciśnieniu powietrza, przy prędkości jazdy 20 [km/h]

Fig. 4. The graph of changes of dynamic wheel radius about nominal pressure of air near the driving speed 20 [km/h]



Rys. 5. Wykres zmian promienia dynamicznego koła o nominalnym ciśnieniu powietrza, przy prędkości jazdy 60 [km/h]

Fig. 5. The graph of changes of dynamic wheel radius about nominal pressure of air near the driving speed 60 [km/h]

Wynik uzyskany dla prędkości 20 [km/h] został zarejestrowany w czasie przejazdu przez odcinek drogi o dużej falistości nawierzchni, a na rys. 5 przedstawiono wyniki pomiarów uzyskane w czasie przejazdu po odcinku drogi o niezniszczonej nawierzchni. Zakres zmian promienia dynamicznego koła pośrednio zależy od bieżącej prędkości jazdy. Dla wyższych

prędkości jazdy można zaobserwować zwiększenie udziału składowych wysokoczęstotliwościowych.

#### **4. PODSUMOWANIE**

Długość promienia dynamicznego koła w czasie jazdy ulega nieustannym zmianom. Badanie zakresu zmian tego zjawiska w warunkach eksploatacyjnych jest możliwe poprzez zastosowanie bezkontaktowych metod pomiaru przemieszczeń. Opracowana metoda umożliwia bezpośredni pomiar bieżącej wartości promienia dynamicznego koła samochodowego w czasie jazdy.

#### **Bibliografia**

1. Jakubiec W., Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, Warszawa 1999.
2. Reimpell J, Betzler J.: Podwozia samochodów. Podstawy konstrukcji, WKiŁ, Warszawa 2004.
3. Lyons R., G.: Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów. WKiŁ, Warszawa 1999
4. Rotenberg R. W.: Zawieszenie samochodu. WKiŁ, Warszawa 1974

Recenzent: Dr hab. inż. Andrzej Grządziela

*Praca wykonana w ramach BW-488/RT2/2010*