

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Zastosowanie bezkontaktowego pomiaru długości do oceny wpływu zmian ciśnienia w ogumieniu na promień dynamiczny koła

JAN WARCZEK, RAFAŁ BURDZIK

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ TRANSPORTU, KATEDRA BUDOWY POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem była analiza wpływu zmian wartości ciśnienia w oponie koła samochodu osobowego na jego promień dynamiczny. Pomiary ugięć dynamicznych opony przeprowadzono w warunkach eksploatacyjnych przy wykorzystaniu bezkontaktowego przetwornika szybkozmiennych przemieszczeń. Badania przeprowadzono na testowym odcinku drogi asfaltowej. Przedstawione wyniki potwierdzają przydatność opisanego procedury badawczej oraz umożliwiają ocenę podatności opony w aspekcie zmian parametrów eksploatacyjnych i obciążeń dynamicznych.

The application of contactless measurement of length to evaluation of changes pressure in tires influence on dynamic radius of wheel

ABSTRACT

The article presents the results of research which aimed to analyze the impact of tire's wheel pressure changes of car for the dynamic radius. Dynamic tire deflection measurements were carried out under operating conditions by using contactless sensor fast-changing displacements. The researches was conducted on the test section of asphalt road. The presented results confirm the usefulness of the described research procedure. This allows assessment of the vulnerability of the tire if were change operating parameters and dynamics loads.

1. WPROWADZENIE

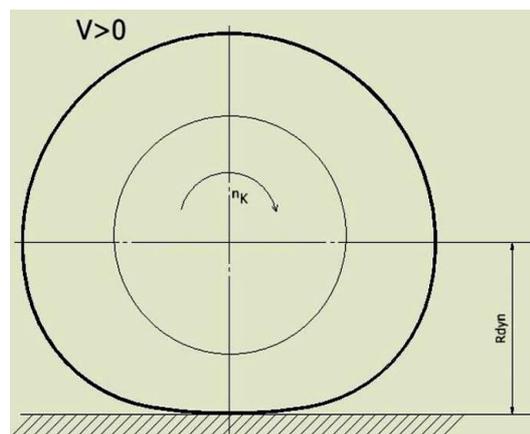
W czasie eksploatacji pojazdu samochodowego normalnym zjawiskiem są okresowe wahania ciśnienia w oponie spowodowane różnymi czynnikami. Zmiany ciśnienia w ogumieniu wpływają na własności podatne koła samochodowego, które prowadzą do zmian odpowiedzi dynamicznej całego układu zawieszenia. W końcowym efekcie to zjawisko może doprowadzić do obniżenia poziomu bezpieczeństwa podróżowania.

W przybliżonych obliczeniach trakcyjnych przyjmuje się, że wartość promienia tocącego się koła jest równa wartości mierzonej na kole swobodnie wiszącym lub ewentualnie wykorzystuje się empiryczną zależność opisującą jego skrócenie proporcjonalne do wymiarów gabarytowych opony. Pomijany jest wtedy fakt, że promień dynamiczny jest uzależniony od danego obciążenia. 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: rodzaj mieszanki gumowej, z której wykonano elementy opony, grubość i rzeźba bieżnika, średnica zewnętrzna opony. W ruchu zmiany długości promienia dynamicznego oscylują w przybliżeniu wokół położenia równowagi statycznej.

W czasie jazdy, na skutek wpływu wielu czynników rzeczywista wartość promienia dynamicznego koła ulega ciągłym zmianom. W literaturze fachowej brak jest danych na temat zakresu zmian własności sprężystych koła pneumatycznego znajdujące się w ruchu postępowo-obrotowym.

Założenie bezpośredniego pomiaru promienia dynamicznego koła R_{dyn} w warunkach eksploatacyjnych narzuca konieczność bezkontaktowego określania odległości pomiędzy nawierzchnią drogi a punktem układu jezdnego samochodu powiązanym osią obrotu koła jeznego (Rys. 1.). Zmiany wartości tego wymiaru są procesem szybkozmiennym, związanym z występującymi w układzie zawieszenia drganiami. Ich źródłem są wymuszenia zewnętrzne i wewnętrzne. Do najistotniejszych źródeł zewnętrznych należą nierówności nawierzchni, podmuchy wiatru, nagłe zmiany prędkości jazdy itp. [1, 2].

Natomiast do wymuszeń wewnętrznych zalicza się źródła drgań, związane z pracą silnika i działaniem układu przeniesienia napędu oraz niewyważenia mas będących w ruchu obrotowym. Niedoskonałość procesów wytwórczych opon, które skutkują niejednorodnym rozkładem współczynnika



Rysunek 1. Promień dynamiczny koła samochodowego

sztwywności promieniowej na jej obwodzie również w znacznym stopniu mogą się przyczyniać do generowania drgań wpływających na obciążenia dynamiczne całego układu. Ponadto, w czasie jazdy z dużymi prędkościami występuje zjawisko wzrostu sztywności mieszanki gumowej opony, wpływające na jej podatność promieniową. Tak więc, chwilowa wartość promienia dynamicznego w czasie jazdy ulega ciągłym zmianom. Analiza zakresu tych zmian, przy założeniu wartości granicznych, pozwala pośrednio ocenić ich wpływ na bezpieczeństwo podróżowania. Dodatkową zaletą takich badań jest możliwość identyfikacji parametrów modeli obliczeniowych zawiesznień.

2. ZASTOSOWANIE METOD BEZKONTAKTOWYCH W POMIARACH PRZEMIESZCZEŃ

We wszystkich układach bezkontaktowego pomiaru przemieszczeń zasadniczo można wyróżnić trzy składniki:

- źródło fal elektromagnetycznych lub promieniowania,
- przetwornik wielkości fizycznej, będącej nośnikiem informacji o mierzonym przemieszczeniu, na którego wyjściu otrzymujemy sygnał wielkości elektrycznej. W dalszej kolejności umożliwia to przetwarzanie sygnału pomiarowego, przy wykorzystaniu metod analogowych lub cyfrowych,
- ośrodek, w którym propaguje dany rodzaj promieniowania.

W przypadku pomiarów przemieszczeń dynamicznych, gdzie wymagana częstotliwość próbkowania musi spełniać kryterium Nyquista, dominują przyrządy bazujące na wykorzystaniu wiązki promieniowania świetlnego [1, 3]. Istnieje kilka różnych metod pomiaru przemieszczeń bazujących na wykorzystaniu tego medium. W tych metodach stosuje

się elementy optoelektroniczne oraz odpowiednie źródła światła, a różnice pomiędzy nimi wynikają z zastosowanych sposobów pomiaru. Ze względu na przyjętą specyfikę zadania pomiarowego, jakim jest pomiar promienia dynamicznego w czasie jazdy, do realizacji celu nadają się metody bazujące na wiązce odbitej od mierzonej powierzchni. Do takich rozwiązań należą metody:

- Time of Flight,
- bazujące na zjawisku Dooplera,
- ogniskowania optycznego,
- triangulacyjne,
- interferencyjne.

Pierwsze z wymienionych bazują na pomiarze zmian 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, które wykorzystują wiązkę bezpośrednio propagującą z nadajnika. 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.

Kolejna grupa przyrządów do pomiarów przemieszczeń to 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 odnie-

sienia, co jest praktycznie niewykonalne w czasie poruszania się pojazdu.

Trzecia z wymienionych metod pomiaru przemieszczeń to ogniskowanie optyczne, które ze względu na zwłokę czasową ruchów obiektywu można stosować tylko do pomiarów wolnozmiennych.

W pomiarach przemieszczeń (długości) z wykorzystaniem światła jako nośnika informacji można również 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.

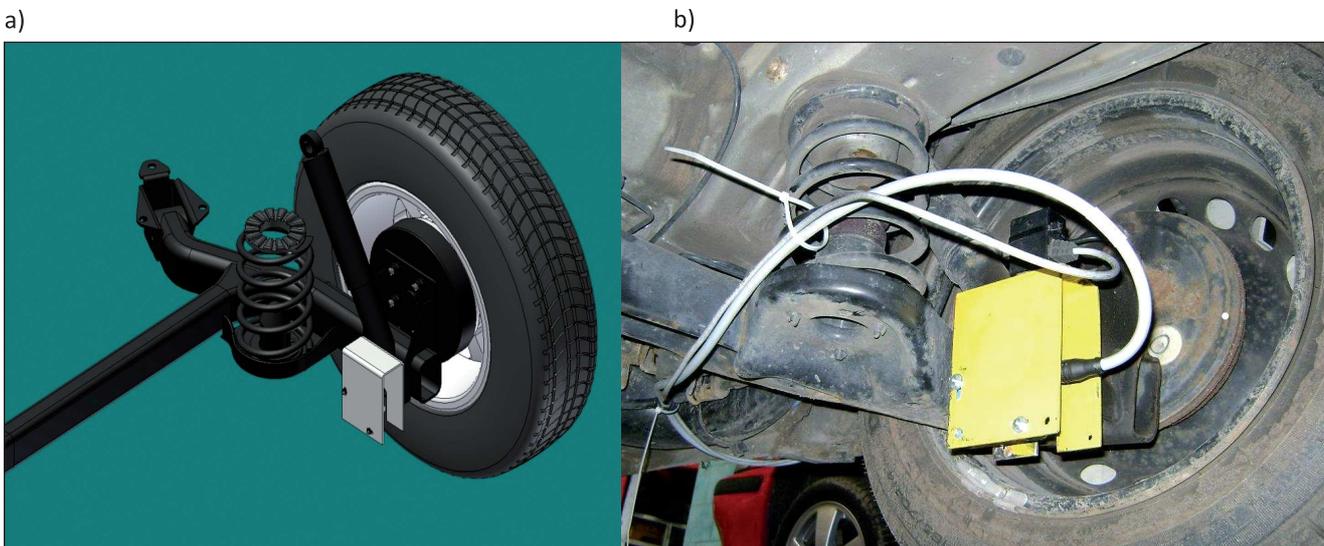
W pomiarach przemieszczeń, przy znacznych prędkościach ruchów można stosować interferometrię laserową. Zasada pomiaru z wykorzystaniem interferencji wiązki laserowej polega (w pierwszej kolejności) na wykorzystaniu półprzeźroczystego pryzmatu, który rozdziela wiązkę na dwie składowe, skierowane odpowiednio 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 fotoelement sygnalizuje wygenerowaniem sygnału elektrycznego, odpowiadającego zmianom natężenia światła. 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 [4, 5].

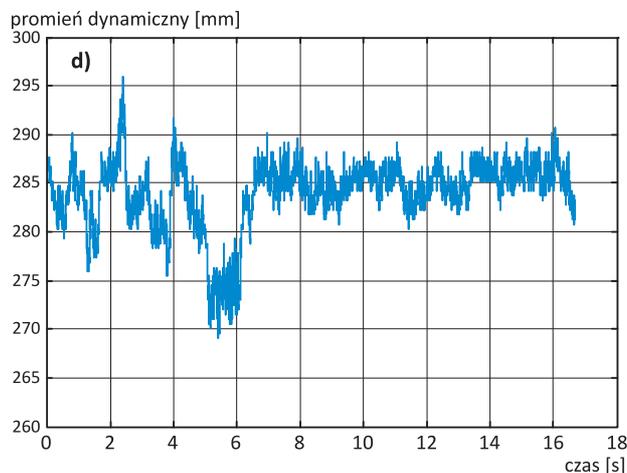
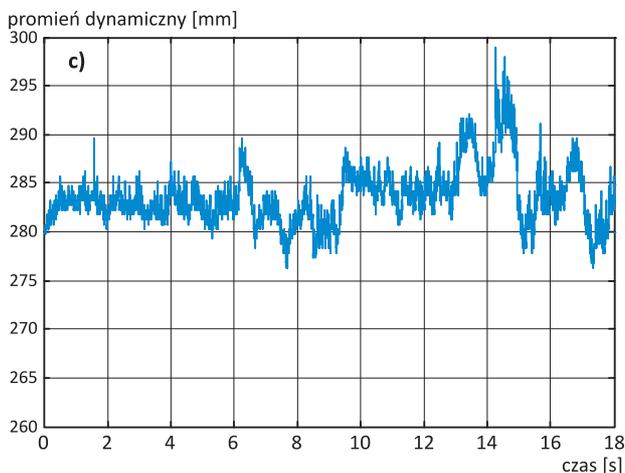
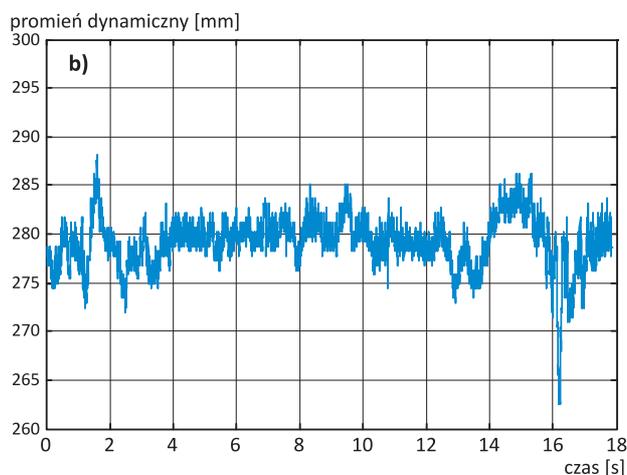
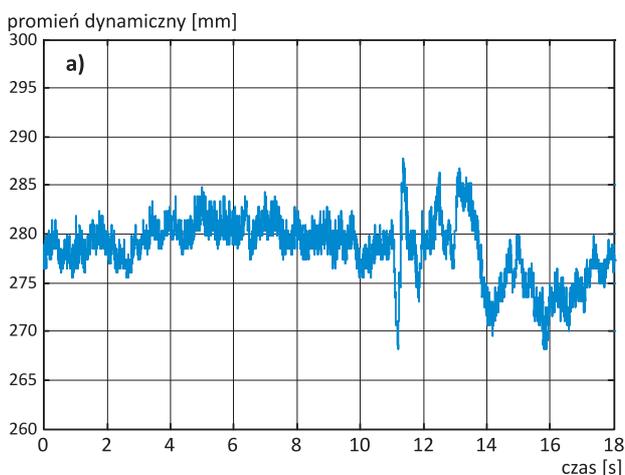
3. OBIEKT I WYNIKI BADAŃ

Projekt systemu pomiarowego zakładał wykorzystanie przetwornika triangulacyjnego, którego zadanie pomiarowe polega na przetwarzaniu zmian

długości odcinka zawartego pomiędzy płaszczyzną osi 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 zlokalizowany na elemencie sztywno połączonym z czopem łożyska



Rysunek 2. Mocowanie czujnika: a) Projekt systemu mocowania przetwornika, b) Widok zestawu przetworników pomiarowych zamocowanych w pojeździe badawczym



Rysunek 3. Przebiegi czasowe zmian promienia dynamicznego koła uzyskane dla prędkości jazdy wynoszącej 20 [km/h] – ciśnienie w oponie odpowiednio: a) 1,7; b) 1,9; c) 2,1; d) 2,3 [10^5 Pa]

żyskowym piasty koła, a więc początek układu odniesienia porusza się zgodnie z przemieszczeniami osi obrotu koła jezdnego. Cały proces pomiaru odbywa się w sposób bezkontaktowy, co umożliwia pozyskiwanie informacji o bieżących wartościach promienia koła w układzie dynamicznym. Widok projektu systemu mocowania przetwornika przedstawia Rysunku 2a. W celu zabezpieczenia czujnika przed uderzeniami luźnych fragmentów nawierzchni drogi został on zabudowany w stalowej konsoli. W czasie eksperymentów kontrolowano obciążenia udarowe w kierunku pomiarowym za pomocą przetwornika przyspieszeń zamocowanego w górnej części konsoli. Widok zestawu pomiarowego, zamocowanego na pojeździe badawczym przedstawia Rysunek 2b.

W trakcie eksperymentów rejestrowano przebiegi czasowe zmian odległości pomiędzy czujnikiem triangulacyjnym a nawierzchnią drogi. Z zarejestrowanych przebiegów czasowych, po uwzględnieniu stałego przesunięcia pomiędzy osią koła a początkiem zakresu pomiarowego czujnika wyznaczono sygnały zmiennego promienia dynamicznego koła. Zakłócenia pomiarowe spowodowane mikro-

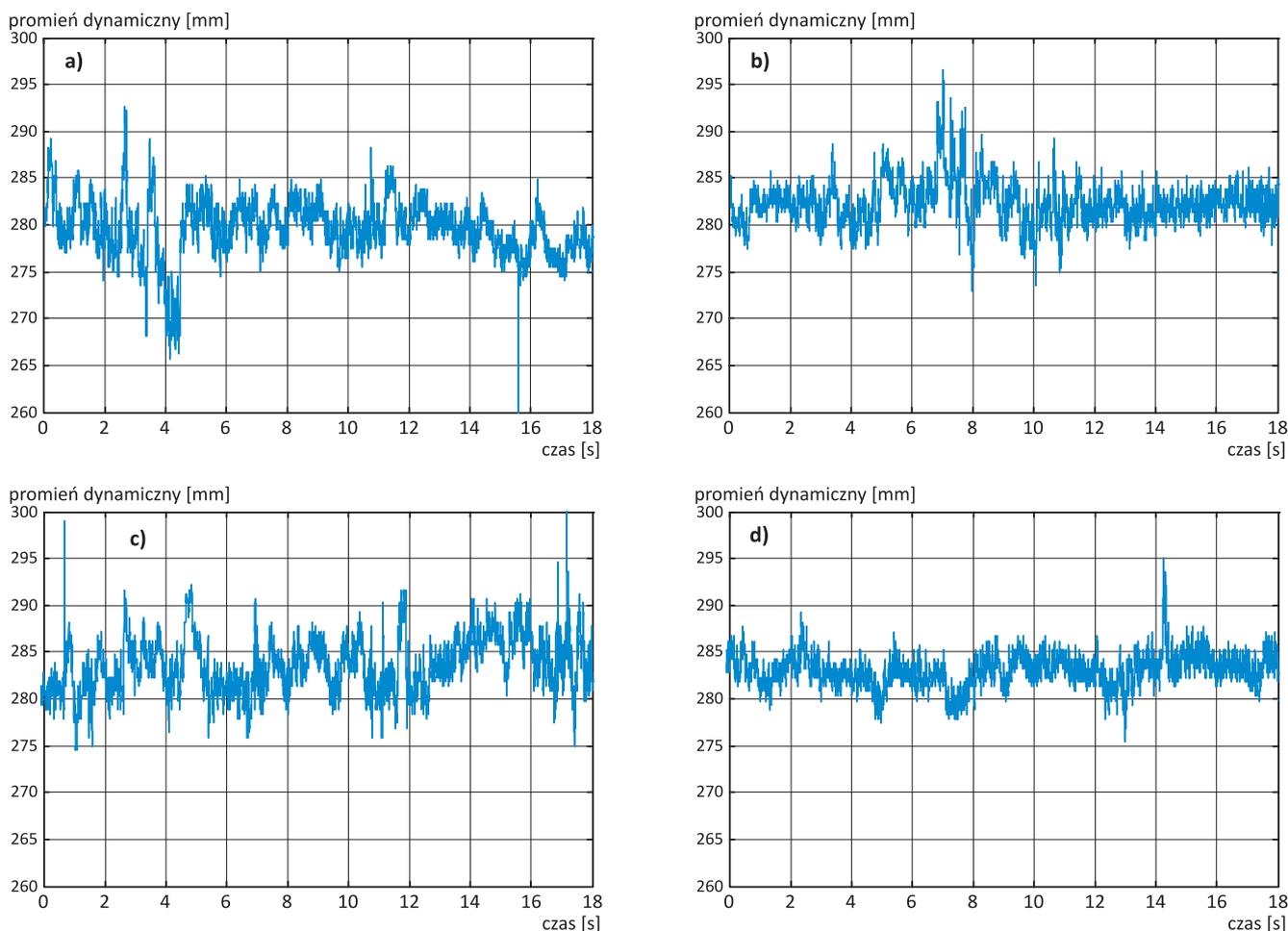
filem nawierzchni drogi usunięto poprzez filtrację dolnoprzepustową. Przykładowe wyniki badań, uzyskane przy różnych prędkościach jazdy i zmianach ciśnienia powietrza w oponie przedstawiono na Rysunku 3, 4 i 5.

Wstępna analiza przebiegów czasowych umożliwiła opracowanie zbiorczych zestawień zmian wartości maksymalnej i minimalnej promienia dynamicznego, które przedstawiono na Rysunkach 6 i 7.

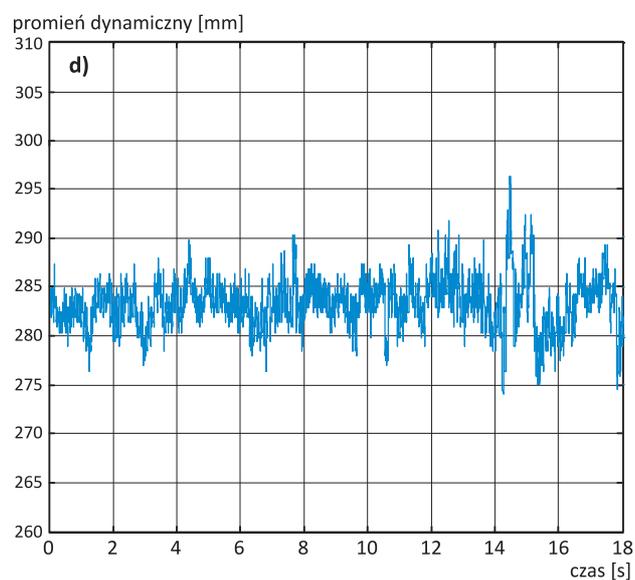
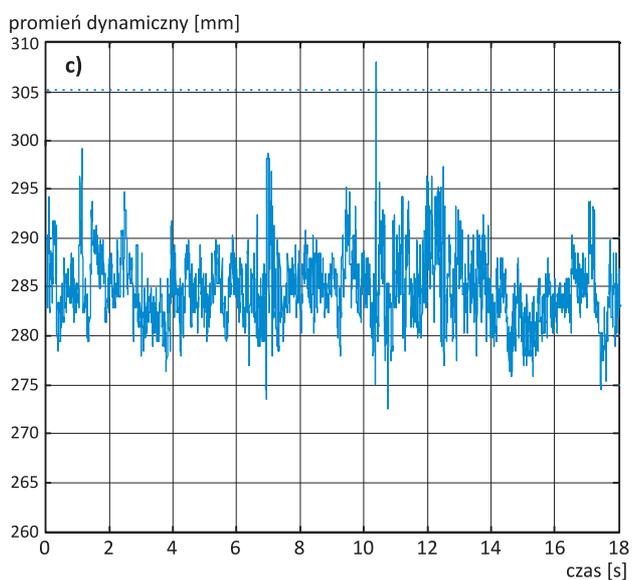
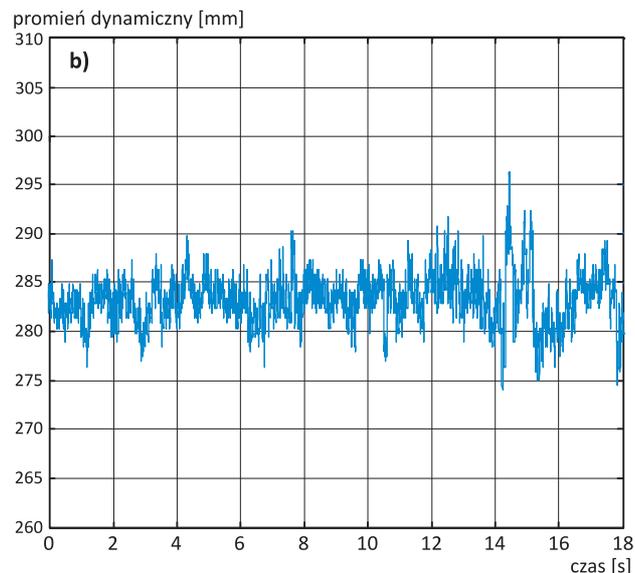
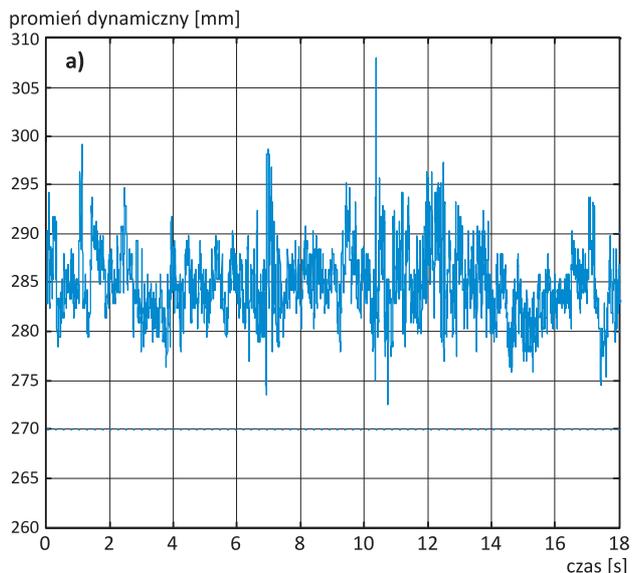
Jak wynika z przeprowadzonej analizy maksymalne wahania zmian promienia dynamicznego koła wystąpiły dla najwyższej z badanych prędkości jazdy. Wpływ zmian ciśnienia w oponie nie jest już tak jednoznaczny. Wszystkie badania zostały przeprowadzone na tym samym fragmencie drogi jednakże należy mieć na uwadze to, że kolejne przejazdy mogły nie odbywać się dokładnie po tym samym torze jazdy.

4. PODSUMOWANIE

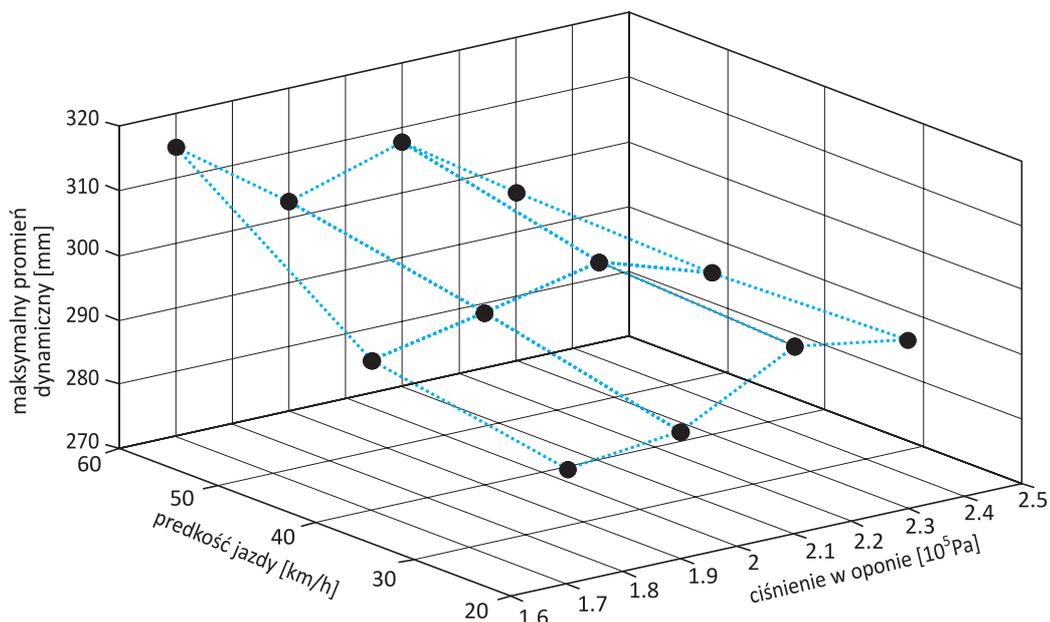
Wartość promienia dynamicznego koła w czasie jazdy ulega nieustannym zmianom. Jest to spowodowane zarówno czynnikami eksploatacyjnymi



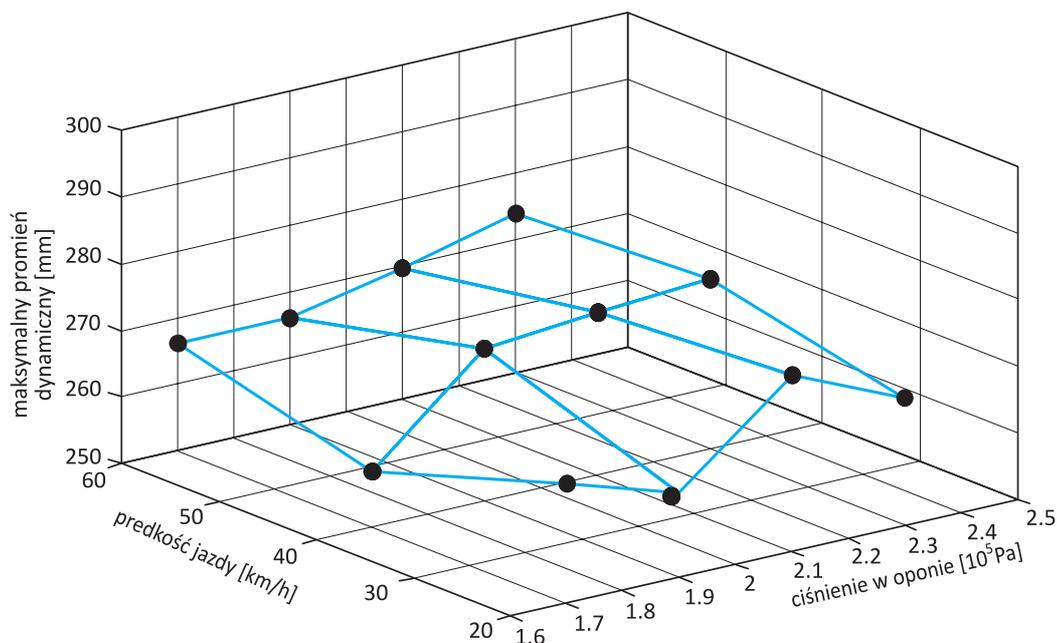
Rysunek 4. Przebiegi czasowe zmian promienia dynamicznego koła uzyskane dla prędkości jazdy wynoszącej 40 [km/h] – ciśnienie w oponie odpowiednio: a) 1,7; b) 1,9; c) 2,1; d) 2,3 [10^5 Pa]



Rysunek 5. Przebiegi czasowe zmian promienia dynamicznego koła uzyskane dla prędkości jazdy wynoszącej 60 [km/h] – ciśnienie w oponie odpowiednio: a) 1,7; b) 1,9; c) 2,1; d) 2,3 [10^5 Pa]



Rysunek 6. Wartości maksymalne promienia dynamicznego koła uzyskane w czasie przejazdów z różnymi prędkościami i dla różnych ciśnień w oponie



Rysunek 7. Wartości minimalne promienia dynamicznego koła uzyskane w czasie przejazdów z różnymi prędkościami i dla różnych ciśnień w oponie

mi takimi jak obciążenie statyczne lub ciśnienie w ogumieniu jak również obciążeniami dynamicznymi koła. Badanie tego zjawiska w warunkach rzeczywistych jest możliwe poprzez zastosowanie

bezkontaktowych metod pomiaru przemieszczeń. Przedstawiona procedura badawcza pozwala na pomiar tego parametru dynamicznego, który jest czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo podróżowania.

LITERATURA

- [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] Warczek J.: *Metoda pomiaru promienia dynamicznego koła samochodowego*. ZN Pol. Śl. S. transport, z. 67, s.97-103, Gliwice 2010.
- [5] Rotenberg R. W.: *Zawieszenie samochodu*. WKiŁ, Warszawa 1974.