

BADANIA DOŚWIADCZALNE PRZYCZEPNOŚCI KOŁA JEZDNEGO DO NAWIERZCHNI DROGI DLA POJAZDU NIERUCHOMEGO

W artykule przedstawiono zmodyfikowane stanowisko do badań przyczepności występującej pomiędzy ogumionym kołem jezdnym a nawierzchnią drogi. Stanowisko to umożliwia pomiar poziomej reakcji wzdłużnej przy poślizgu koła wynoszącym 100%. Znając pionową siłę nacisku koła jezdnego na nawierzchnię drogi, wyznaczono współczynnik przyczepności, którego zmienność w czasie przedstawiono na wykresie.

WSTĘP

Podstawowym zadaniem ogumionych kół jezdnych jest przenoszenie sił na nawierzchnię drogi podczas rozpędzania, hamowania lub ruchu ustalonego pojazdu. Te wszystkie aspekty ruchu osiągane są poprzez zapewnienie odpowiedniej przyczepności opony do jezdni. Przyczepność ta ma znaczenie przy rozpatrywaniu ruchu pojazdu w kierunku jego osi podłużnej, czyli rozpędzania i hamowania. Tym samym wpływa ona na prawidłowe działanie układu napędowego i układu hamulcowego, których ostatecznym etapem funkcjonowania jest wywołanie interakcji pomiędzy oponą a nawierzchnią np. w postaci siły tarcia mającej wyhamować lub rozpędzić pojazd.

Przyczepność koła jezdnego do nawierzchni drogi zależy od wielu aspektów, takich jak: rodzaj nawierzchni, konstrukcja opony, jej stopień zużycia oraz ciśnienia panującego w kole oraz poślizgu.

Celem prac prowadzonych w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej było przystosowanie istniejącego stanowiska pomiarowego do badań przyczepności występującej pomiędzy kołem jezdnym a nawierzchnią drogi podczas procesu napędu przy poślizgu koła jezdnego 100% a następnie przeprowadzenie badań doświadczalnych na tym stanowisku.

1. MODEL KOŁA JEZDNEGO

W celu przedstawienia konkretnych danych ilościowych dotyczących zagadnień przyczepności koła szczególnie przy napędzaniu i hamowaniu konieczne jest przeprowadzenie badań doświadczalnych. Badania doświadczalne w zakresie współpracy koła z nawierzchnią drogi, prowadzone są najczęściej w oparciu o uproszczony model. W modelu tym wprowadza się bezwymiarowy współczynnik μ , który w przypadku ruchu koła nie jest już określany mianem współczynnika tarcia tylko współczynnika przyczepności. Uzależnia on wypadkową styczną reakcję podłoża F od pionowego obciążenia koła Q w następujący sposób [2]:

$$F = \mu * Q \quad (1)$$

Podobieństwo powyższego wzoru do wzoru opisującego siłę tarcia jest jedynie analogią formalną, gdyż wielkość siły F uwzględnia nie tylko rodzaj będących ze sobą w kontakcie materiałów, ale również inne czynniki takie jak kształt bieżnika, chwilowy stan na-

wierzchni lub obecność obcych ciał pomiędzy oponą a nawierzchnią [2]. Rozkładając siłę F na składowe x i y układu współrzędnych obejmującego rzut koła na jezdnię można otrzymać siłę styczną wzdłużną i poprzeczną, a tym samym współczynnik przyczepności wzdłużnej μ_x i współczynnik przyczepności poprzecznej μ_y wyrażone wzorami [2]:

$$\mu_x = \frac{F_x}{Q} \quad (2)$$

$$\mu_y = \frac{F_y}{Q} \quad (3)$$

Ze względu, że przedmiotem badań w ramach niniejszej pracy jest przyczepność wzdłużna koła ogumionego, w dalszej części pracy pominięte zostaną zagadnienia związane z przyczepnością poprzeczną.

W celu uniknięcia konieczności posługiwania się wymierną wielkością, jaką jest prędkość poślizgu wprowadzono pojęcie poślizgu względnego oznaczonego poprzez S . Wyraża on wartość poślizgu poprzez liczbę od 0 do 1 lub wielkości procentowe, a określony jest za pomocą wzoru [1]:

$$S = \frac{v_{pos}}{(v_{pos})_{gr}} \quad (4)$$

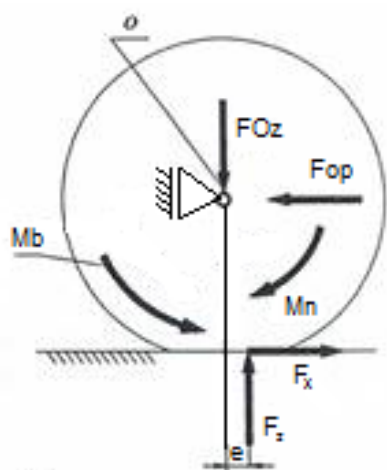
Poślizg względny dla koła napędzanego S_n przyjmuje formę:

$$S_n = \frac{r\omega - v}{r\omega} = \frac{r\omega - r_t\omega}{r\omega} = 1 - \frac{r_t}{r} \quad (5)$$

Na potrzeby prac prowadzonych w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej przyjęto model obciążenia koła pokazany na Rys. 1. [4].

Do koła przyłożony jest moment napędowy powodujący jego obrót wokół własnej osi. Jako że konstrukcja stanowiska pomiarowego uniemożliwia postępowy ruch koła, w konsekwencji osiągnięta zostanie wartość 100% poślizgu wzdłużnego. Reakcja podłoża F_z wynikająca z zależności kinematycznych koła oraz sprężystych właściwości jego ogumienia będzie przesunięta w stosunku do

środku obrotu o wartość e . Wartość iloczynu przesunięcia e oraz reakcji podłoża F_z określa pierwszy z oporów jaki napotka koło, podczas próby jego rozruchu, czyli opór tarcia toczonego. Dodatkowym oporem uwzględnionym przy tworzeniu modelu badanego koła jest bezwładność bryły i pochodzący z niej moment, którego wartość równa jest iloczynowi masowego momentu bezwładności oraz przyspieszenia kąowego. Ostatnim z uwzględnionych oddziaływań jakiemu podlega koło badawcze jest moment siły przyczepności F_x działający w odległości promienia dynamicznego od środka koła. Wraz z tą siłą występuje także równoważący ją opór F_{op} . Z racji że pomiary będą odbywały się w zamkniętym pomieszczeniu oraz koło będzie unieruchomione, w opracowywaniu jego modelu nie uwzględniono sił oporu powietrza. Moment oporowy w łożyskach również został pominięty.



Rys. 1. Przyjęty model koła badawczego wraz z obciążeniem [4]

2. STANOWISKO BADAWCZE

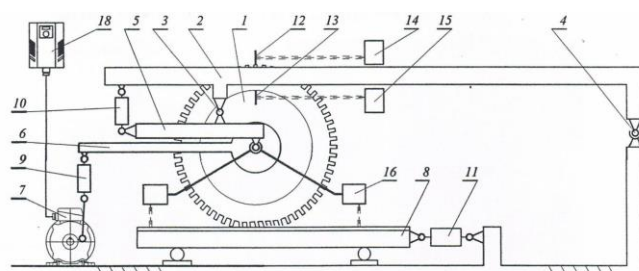
Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn posiada na wyposażeniu stanowisko skonstruowane na początku lat 2000, które wykorzystywane jest do badań napędu ogumionego koła jezdne. W celu oceny stopnia możliwości zastosowania wspomnianego stanowiska w jego pierwotnej konfiguracji przeprowadzono analizę obciążenia badanego koła jezdne. Analiza ta była konieczna, gdyż koło podczas badań obracało się ze 100% poślizgiem wzdłużnym, co wiązało się z przekroczeniem wartości tarcia granicznego, a tym samym zaistniała konieczność, dostarczenia do koła odpowiednio wysokiego momentu napędzającego. Źródłem momentu jest silnik elektryczny będący częścią stanowiska, natomiast elementem przenoszącym moment jest wał przegubowy.

Poniżej przedstawiono widok zmodyfikowanego na potrzeby prowadzonych badań stanowiska badawczego.



Rys. 2. Zmodyfikowane stanowisko badawcze

Do pomiaru wartości badanych na stanowisku testowym wykorzystano system czujników, których przeznaczenie i rozmieszczenie zostało przedstawione na poniższym rysunku. Ogólnie urządzenia te można podzielić na odległościowe czujniki laserowe oraz czujniki siły.



1 – badawcze koło jezdne, 2 – rama wózka, 3 – przegub łączący ramę wózka (2) z ramą pomocniczą (5), 4 – przegub mocowania ramy wózka (2) do płyty podłogi stanowiska, 5 – rama pomocnicza, 6 – dźwignia przekazująca napęd od silnika (7) na badawcze koło jezdne, 7 – pulsator momentu napędowego - elektryczny silnik napędowy z układem korbowym, 8 – platforma jezdni badawczej, 9 – czujnik momentu napędowego, 10 - czujnik siły pionowej, 11 - czujnik siły poziomej, 12 – ekran mocowany do bieżnika badanego koła jezdne, 13 - ekran mocowany do tarczy koła jezdne, 14 – odległościowy czujnik laserowy do pomiaru przemieszczeń kątowych pasa bieżnika, 15 - odległościowy czujnik laserowy do pomiaru przemieszczeń kątowych tarczy koła jezdne, 16 - odległościowy czujnik laserowy do pomiaru promienia dynamicznego koła jezdne, 18 – przetwornik częstotliwości (falownik)

Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego



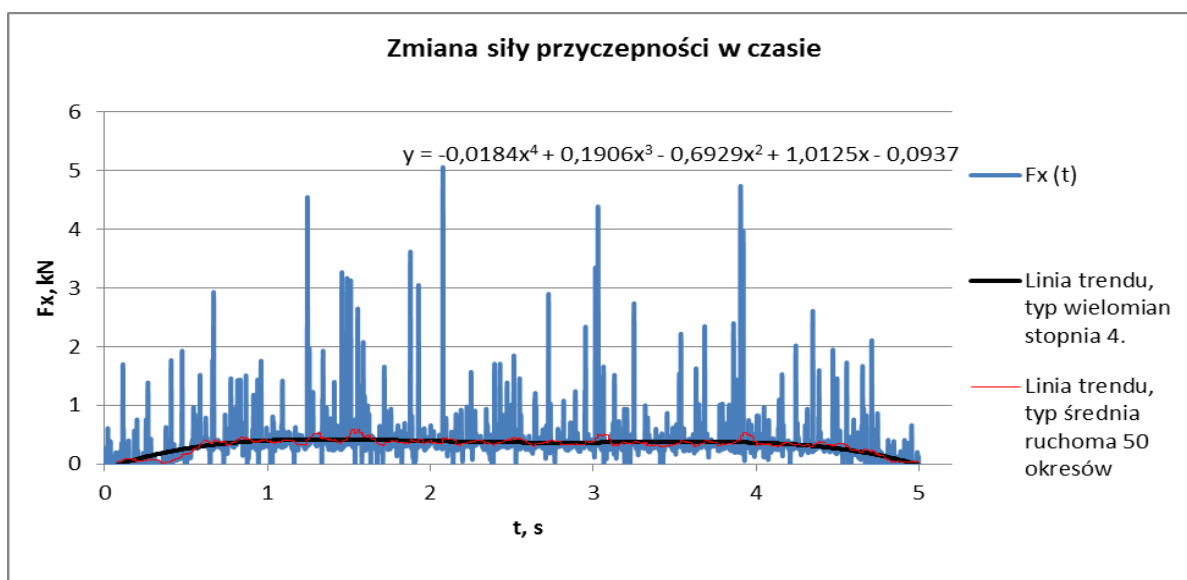
Rys. 4. System pomiarowo – rejestrujący

3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Przedmiot badań stanowiło koło ogumione złożone z:

- obręczy stalowej 5x13 o rozstawie śrub 4x98 i odsadzeniu 33
- opony marki Dębica o rozmiarze 145/70 R13.

Badania przyczepności napędzanego koła jezdne do nawierzchni drogi przeprowadzono na stanowisku badawczym. Po przeprowadzonych pomiarach wyniki zostały zapisane, a następnie poddane opracowaniu. Wyniki zaimportowane bezpośrednio z plików tekstowych posiadały formę niewygladzoną, w której większość punktów w danej chwili mieściła się w obrębie pewnej wartości, natomiast pojawiały się też wyniki wyraźnie odbiegające od głównego przebiegu. W celu wygładzenia wyników badań wyznaczono linię trendu. Dzięki tej opcji możliwe jest pokazanie ogólnego wzorca lub trendu poprzez wyrównanie fluktuacji danych. Z racji, że wszystkie wykresy sporządzane były w funkcji czasu, równania linii trendu pozwalały wyznaczyć wartość danego parametru w zależności od przyjętej chwili t . Wykres siły przyczepności otrzymany na podstawie danych z pomiaru został przedstawiony na rys. 5. Wartości liczbowe współczynnika przyczepności obliczone na podstawie równania linii trendu wzrastają od ok. 0,7, do maksymalnej wartości 0,94 kiedy opona jest już nagrzana. Ciekawym zjawiskiem jest późniejszy spadek wartości współczynnika do ok. 0,8.



Rys. 5. Wykres zmiany siły przyczepności w funkcji czasu [4]

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono zmodyfikowane stanowisko badawcze do badań przyczepności napędzanego koła jezdnego do nawierzchni drogi, przy poślizgu obwodowym względnym wynoszącym 100%. Na stanowisku tym przeprowadzono badania doświadczalne, których wyniki w formie wykresu przedstawiono w artykule.

Na podstawie wyników badań doświadczalnych wyznaczono wartości współczynnika przyczepności pomiędzy kołem a nawierzchnią drogi.

W końcowej fazie pomiaru, zaobserwowano spadek wartości współczynnika przyczepności. Zjawisko to można tłumaczyć wzrostem temperatury powierzchni bieżnika koła jezdnego, co doprowadziło do zjawiska płynięcia gumy.

BIBLIOGRAFIA

1. M. Dębicki, „Teoria samochodu, teoria napędu.,” Warszawa, Wydawnictwa Naukowow-Techniczne, 1976, str. 61 - 105.
2. J. Lanzendoerfer, C. Szczepaniak i A. Szosland, „Teoria ruchu samochodu,” Łódź, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 1988, str. 7 - 84.

3. Kierownik projektu R. Andrzejewski, „Raport końcowy. Sprawozdanie merytoryczne z przebiegu realizacji grantu 4T12C01826 pt. Badania procesu napędu elastycznego koła jezdnego.,” Łódź, 2006.
4. J. Kopka, „Modyfikacja stanowiska do badania zjawiska tarcia występującego pomiędzy kołem jezdnym a nawierzchnią drogi”, Politechnika Łódzka, Łódź, 2016.

Experimental research of friction phenomenon between tire and road for stationary vehicle

The article presents a modified test stand for the traction between the tire wheel and the road surface. This position allows you to measure the horizontal longitudinal reaction with a wheel slip of 100%. Knowing the vertical force of the contact wheel on the surface of the road, the coefficient of adhesion was determined, the variability of which is shown in the graph over time.

Autorzy:

dr inż. **Robert Pietruszewski** – Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn
mgr inż. **Jakub Kopka**