

Grzegorz CZERWIAKOWSKI¹

Opiekun naukowy: Henryk WNEK²

DOI: <https://doi.org/10.53052/9788366249837.04>

ANALIZA WPŁYWU KĄTA POCHYLENIA KOŁA NA WARUNKI WSPÓŁPRACY OPONY Z NAWIERZCHNIĄ JEZDNI

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienie wpływu kąta pochylenia koła na warunki współpracy opony z nawierzchnią drogi. Opisano metodykę badawczą wraz ze stanowiskiem i aparaturą pomiarową. Przeprowadzono badania wpływu kąta pochylenia koła na ślad współpracy opony z nawierzchnią oraz wpływu działania siły bocznej na odkształcenie opony. Przedstawiono wyniki badań i wykonano analizy wpływu kąta pochylenia koła warunki pracy opony.

Słowa kluczowe: opona, pochylenie koła, geometria ustawienia kół, bezpieczeństwo czynne, stateczność

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE KING PIN ANGLE ON THE CONDITIONS OF COOPERATION OF THE TIRE WITH THE ROAD SURFACE

Summary: The article presents the issue of the influence of the camber angle on the conditions of cooperation between the tire and the road surface. The research methodology was described along with the stand and measuring apparatus. Research was carried out on the influence of the camber angle on the tire-road cooperation trace and on the impact of the lateral force on the deformation of the tire. The results of the tests were presented and the analysis of the influence of the camber angle on the tire operating conditions was performed.

Keywords: tire, camber, wheel alignment, active safety, stability

1. Wstęp

Opona jest elementem bezpośrednio przenoszącym działające pomiędzy samochodem a nawierzchnią siły poprzeczne, wzdłużne i pionowe. [1,2,3,4,5] Opona,

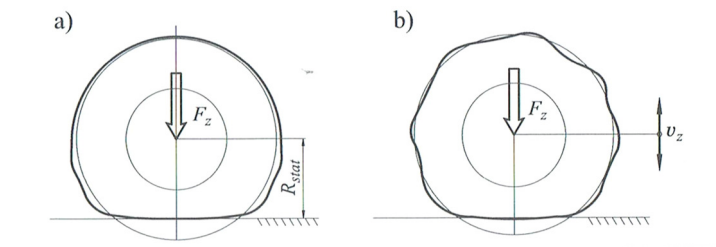
¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Samochody i Silniki, grzegorz.cz@autograf.pl

² dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, hwnek@ath.bielsko.pl

jako jedyny element pojazdu stykający się z nawierzchnią odgrywa decydującą rolę w zachowaniu bezpieczeństwa jazdy. [3,6,7] Oponom stosowanym w samochodach osobowych i ciężarowych stawiany jest szereg wymagań, które można podzielić na pięć głównych kategorii:

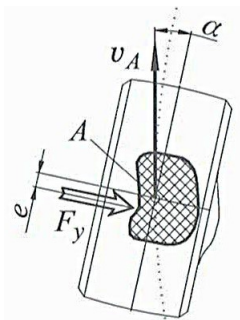
- bezpieczeństwo jazdy,
- własności ruchowe,
- trwałość,
- ekonomiczność eksploatacji,
- oddziaływanie na środowisko.

Pod wpływem obciążenia opona odkształca się, a ze względu na jej konstrukcję odkształcenia te są wielowymiarowe. Na rysunku 1 przedstawiono zachowanie się opony podczas obciążenia statycznego (a) oraz dynamicznego (b), gdzie pojazd znajduje się w ruchu, a opona wiruje z dużą prędkością. [1,3,4,9,10]



Rysunek 1. Odształcenie opony przy obciążeniu: a) statycznym, b) dynamicznym [1]

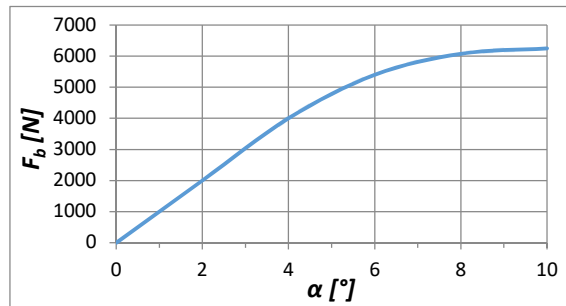
Podczas jazdy na zakręcie lub podczas zmiany pasa ruchu na pojazd działają siły boczne. Siły te powodują powstanie reakcyjnych sił przyczepności w kontakcie opony koła z nawierzchnią jeźni, które skutkują odkształceniem bocznym opony. Zjawisko to pokazano na rysunku 2. W tym przypadku jazda odbywa się ze znośmieniem bocznym, które polega na odchyleniu wektora prędkości koła v_A od kierunku płaszczyzny symetrii tarczy koła o kąt α będący kątem znośnienia.



Rysunek 2. Zjawisko bocznego znośnienia ogumienia: α - kąt znośnienia, v_A - wektor prędkości umownego punktu A, F_y - siła boczna, e - przemieszczenie siły bocznej [1]

Na rysunku 3 ukazano zależność siły bocznej F_y od kąta znośnienia. Przebieg charakterystyki $F_y(\alpha)$ jest przebiegiem regresywnym, ze swoim maksimum dla wartości kątów 10 - 15°. Jazda z takimi kątami znośnienia jest szczególnie

niebezpieczna i w praktyce powinna być wykorzystywana jedynie podczas sportowej jazdy samochodem.



Rysunek 3. Zależność siły bocznej F_b od kąta znoszenia α [1]

W celu bezpiecznego poruszania się pojazdem w codziennych sytuacjach kąty znoszenia nie powinny przekraczać 6° . Pozwoli to zachować bezpieczną rezerwę siły bocznej w przypadku wystąpienia zagrożenia na drodze, bądź zmianie warunków jazdy [1, 2].

2. Wpływ geometrii ustawienia kół na stateczność i kierowność pojazdów

Do zadań zawieszenia należy przenoszenie sił ze styku opony z jezdnią na nadwozie samochodu (siły wzdłużne oraz siły poprzeczne). Ponadto konstrukcja zawieszenia musi zapewnić możliwie duży komfort jazdy. Zawieszenie powinno się charakteryzować podatnością, zwłaszcza w kierunku wzdłużnym, w celu redukcji drgań wynikających z toczenia się opon oraz nierówności jezdni. Elastyczność zawieszenia musi być jednak ograniczona w pewnym zakresie w celu zapewnienia odpowiedniej szybkości narastania sił bocznych działających na koła, a co za tym idzie odpowiedniej precyzji prowadzenia [2,3,6,7,10].

Podczas projektowania zawieszek pojazdów należy szczególnie zwrócić uwagę na występowanie zmiennych warunków podczas jazdy, takich jak jazda pojazdem nieobciążonym bądź pod obciążeniem, przyspieszenie i hamowanie, różne jakości jezdni, po której porusza się pojazd, jazda na wprost oraz jazda po łuku itd. [2,3,10] Do podstawowych wymagań stawianym zawieszeniom w samochodach osobowych zalicza się:

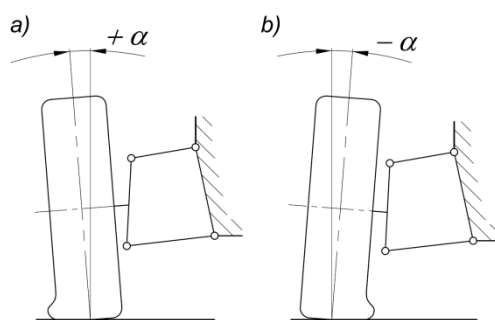
- odpowiednie ustawienie kół samochodu względem jezdni podczas różnych warunków jazdy. Jest to warunek, który zapewnia odpowiednią stateczność i kierowność pojazdu, co bezpośrednio przekłada się na bezpieczeństwo jazdy. Ponadto odpowiednie ustawienie geometrii zawieszenia przyczynia się do redukcji przechyłów nadwozia pojazdów podczas hamowania oraz przyspieszania, co przekłada się na zachowanie stałej charakterystyki prowadzenia pojazdu w zmiennych warunkach jazdy,
- zapewnienie możliwości niezależnego przemieszczania się poszczególnych kół pojazdu – niemożliwe do zrealizowania w przypadku zawieszek zależnych, częściowo możliwe w przypadku zastosowania zawieszek półzależnych,

- zachowanie możliwie małej masy nieresorowanej,
- odpowiednie przekazywanie sił ze styku opon z jezdnią na nadwozie samochodu,
- możliwie małe wymiary i prosta konstrukcji przy jednoczesnym uwzględnieniu wszelkich wymagań wytrzymałościowych,
- zapewnienie możliwie ograniczonego kosztu produkcji oraz dalszej eksploatacji zawieszenia. [2]

Prawidłowy dobór parametrów ustawienia geometrii kół zapewnia wymagane właściwości ruchowe pojazdu, w szczególności jego kierowność, zdolność utrzymywania prostoliniowego kierunku ruchu oraz przeciwdziałanie nadmiernemu zużyciu się opon. [8,9]

Do parametrów określających geometrię ustawienia kół zalicza się: zbieżność kół, kąt pochylenia koła, kąt wyprzedzenia osi sworznia zwrotnicy, kąt pochylenia sworznia zwrotnicy, różnica skrętów skrętu koła zewnętrznego i wewnętrznego, promień zataczania itd.[2]

Kąt pochylenia koła (Rysunek 4) jest to kąt zawarty pomiędzy płaszczyzną symetrii koła, a płaszczyzną prostopadłą do jezdni. Kąt jest dodatni jeśli koło przechylone jest na zewnątrz, a ujemny jeśli do wewnątrz samochodu.



Rysunek 4. Kąt pochylenia koła: a) dodatni, b) ujemny

Badania wykazują, że ze względu na możliwą maksymalną redukcję oporów toczenia, oraz zużycia bieżnika opony, najkorzystniejszej jest, gdy kąt pochylenia koła znajduje się w przedziale $\alpha = +5'$ do $+10'$. Większe kąty dodatnie powodowałyby szybsze zużywanie się zewnętrznego barku opony, mniejsze – wewnętrznego. Jednakże obecnie w celu zapewnienia lepszych właściwości trakcyjnych podczas pokonywania zakrętów oraz co za tym idzie większego bezpieczeństwa jazdy odchodzi się od tych wartości i w samochodach osobowych z reguły stosowane są kąty pochylenia koła $\alpha = 0^\circ$ do $-1^\circ 20'$. W przypadku pojazdów sportowych wartości te są jeszcze większe.[2,3]

Oprócz nominalnej wartości kąta pochylenia koła bardzo istotna jest tolerancja czyli dopuszczalna odchyłka pomiędzy wartościami koła lewego i prawego. Badania wykazały, że optymalna wartość tej odchyłki wynosi $\pm 30'$. [2,3]

Skutkami błędnego ustawienia kątów pochylenia kół są:

- szybsze zużywanie się bieżnika po wewnętrznej stronie opony przy zbyt dużym ujemnym pochyleniu koła, bądź po zewnętrznej stronie opony przy zbyt dużym dodatnim pochyleniu koła,
- niedopuszczalnie szybkie nagrzewanie się barków opony przy zbyt dużych kątach pochylenia koła,

- niestabilna jazda w zakrętach, pogorszone prowadzenie boczne przy zbyt małych ujemnych kątach pochylenia koła,
- „ściągnięcie” samochodu w lewą bądź prawą stronę spowodowane zbyt dużymi różnicami w pochyleniu kół.

Jako, że kąt pochylenia koła ma znaczny wpływ na pracę opony i jej szybkość zużywania się, przyjmuje się, że wartość tego kąta nie powinna przekraczać $\alpha = 4^\circ$. Należy pamiętać o tym, że kąt pochylenia kół nie powinien przekraczać tej wartości również podczas pełnego ugięcia zawieszenia. [2,3]

3. Badania doświadczalne

Celem przeprowadzenia badań doświadczalnych było praktyczne sprawdzenie wpływu zmiany kąta pochylenia koła na warunki współpracy koła ogumionego z nawierzchnią jezdni. W ramach badań wykonano pomiary zmiany pola powierzchni styku opony z nawierzchnią jezdni oraz wielkości odkształcenia bocznego pod wpływem działania siły bocznej.

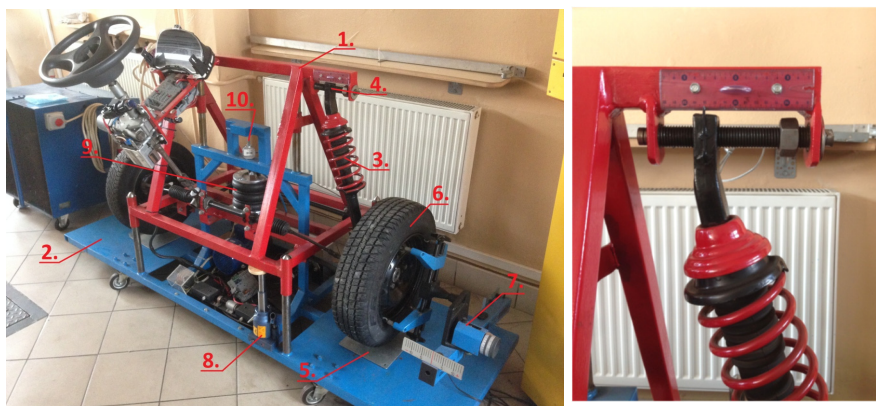
Zmiana pola powierzchni styku opony z jezdnią przekłada się na zmianę oporów toczenia, przyczepności, zużycia bieżnika opony oraz na wiele innych parametrów odpowiedzialnych za właściwości jezdne pojazdu.

Odkształcenie boczne opony związane jest ze sztywnością boczną opony i w sposób bezpośredni wpływa zjawisko boczne znoszenia pojazdu.

3.1. Opis stanowiska pomiarowego

Badania przeprowadzono na specjalnym stanowisku badawczym przedstawionym na rysunku 5. Głównym elementem budowy stanowiska jest rama, na której zabudowane jest kompletne zawieszenie przednie samochodu osobowego z kolumnami prowadzącymi - MacPherson. Dzięki zastosowaniu czterech prowadnic przymocowanych do podstawy stanowiska, możliwy jest ruch pionowy ramy. Za pomocą dwóch podnośników górnego i dolnego następuje podnoszenie oraz opuszczanie ramy, tym samym symulowanie pracy zawieszenia na skutek zmian obciążenia pionowego kół. Między oponą a podstawą stanowiska znajdują się metalowe płyty umieszczone na igielkowych łożyskach płaskich. Umożliwia to swobodne przemieszczanie się kół w kierunku lewo-prawo pod wpływem zmian pionowego obciążenia. Zmiana kąta pochylenia koła realizowana była poprzez śrubowe mocowanie górnej części amortyzatora do ramy. Pomiar kąta pochylenia koła dokonywany był przy pomocy specjalistycznego urządzenia diagnostycznego GTO 1216 przymocowanego do obręczy koła.

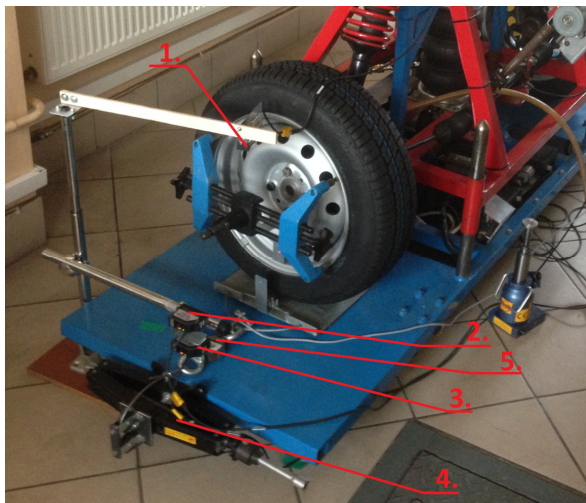
Badaniom poddano oponę miejskiego samochodu osobowego - Dębica Frigo o rozmiarze 155/85 R13 79T, M+S.



Rysunek 5. Stanowisko badawcze: a) widok stanowiska: 1 - rama, 2 - podstawa, 3 - kolumna MacPherson, 4 - górne mocowanie amortyzatora, 5 - metalowe płyty wraz z łożyskami igiełkowymi, 6 - badane koło, 7 - urządzenie do pomiaru kąta pochylenia koła, 8 - podnośnik hydrauliczny, 9 - podnośnik pneumatyczny, 10- czujnik obciążenia pionowego, b) górne mocowanie amortyzatora umożliwiające zmianę kąta pochylenia koła

3.2. Opis aparatury pomiarowej i metodyki badawczej

Stanowisko pomiarowe (Rysunek 6) wyposażone zostało w odpowiednią aparaturę pomiarową, na którą składał się układ akwizycji danych AD_32 Grapol Electronic oraz czujniki pomiarowe.



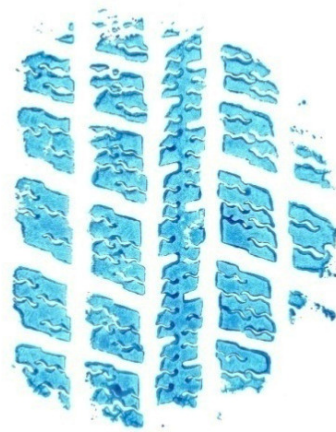
Rysunek 6. Układ pomiarowy wykorzystywany do pomiaru siły bocznej: 1 - czujnik przemieszczenia do pomiaru ugięcia opony, 2 - czujnik do pomiaru przemieszczenia obręczy koła, 3 - czujnik przemieszczenia do pomiaru odkształcenia bocznego opony, 4 - podnośnik trapezowy, 5 - czujnik siły bocznej

Podczas badań wykorzystywano następujące czujniki: tensometryczny czujnik obciążenia pionowego firmy ZEP o zakresie pomiarowym 10 kN, tensometryczny czujnik pomiaru siły bocznej o zakresie pomiarowym 5 kN, optyczne (triangulacyjne) czujniki przemieszczeń liniowych firmy Keyence o zakresie pomiarowym ± 75 mm i ± 150 mm. Zadaniem czujników optycznych był pomiar ugięcia pionowego opony, przemieszczenia bocznego obręczy koła oraz odkształcenia bocznego opony. Układ mechaniczny służący do symulacji siły bocznej zbudowany został w oparciu o podnośnik trapezowy. Podnośnik przy pomocy stalowej liny oddziaływał na tensometryczny czujnik siły, a następnie na metalową płytę, na której znajdowało się badane koło. Na rysunku 6 przedstawiono część układu odpowiedzialną za generowanie siły bocznej oraz jej pomiar (czujniki odległości oraz siły).

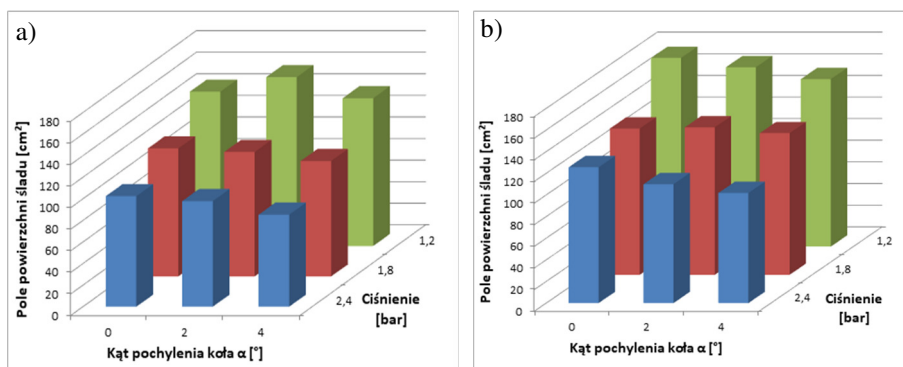
3.3. Pomiar wpływu kąta pochylenia koła na ślad współpracy opony z nawierzchnią

Badania przeprowadzono dla trzech wartości kąta pochylenia koła: $\alpha = 0^\circ$, 2° i 4° . Wartość kąta pochylenia koła była precyzyjnie ustawiana przy pomocy urządzenia do pomiaru geometrii ustawienia kół GTO1216. Dla każdego ustawienia kąta pochylenia koła zmieniane było również ciśnienie w oponie oraz obciążenie działające na koło.

Przyjęto następujące wartości ciśnienia powietrza w oponach: 1,2 bar - ciśnienie obniżone, 1,8 bar - odpowiadające ciśnieniu nominalnemu oraz 2,4 bar - ciśnienie podwyższone. Obciążenie pionowe działające na koło zadawane było przy pomocy pneumatycznego podnośnika. Przyjęto dwie wartości obciążenia działającego na układ: 6000 N oraz 4500 N, co odpowiada obciążeniu 3000 N i 2250 N działającemu na jedno koło. Dla każdego punktu pomiarowego przeprowadzono rejestrację śladu styku opony z nawierzchnią. Na rysunku 7 pokazano przykładowy odcisk śladu opony otrzymany podczas badań dla ciśnienia 1,2 bar, kąta pochylenia $\alpha = 4^\circ$ oraz obciążenia 4500 N. Na rysunku 8 przedstawiono zmiany pola powierzchni śladu współpracy opony z nawierzchnią w zależności od kąta pochylenia koła α oraz obciążenia pionowego.



Rysunek 7. Przykład śladu opony dla ciśnienia 1,2 bar, kąta pochylenia koła $\alpha = 4^\circ$ i obciążenia 4500 N

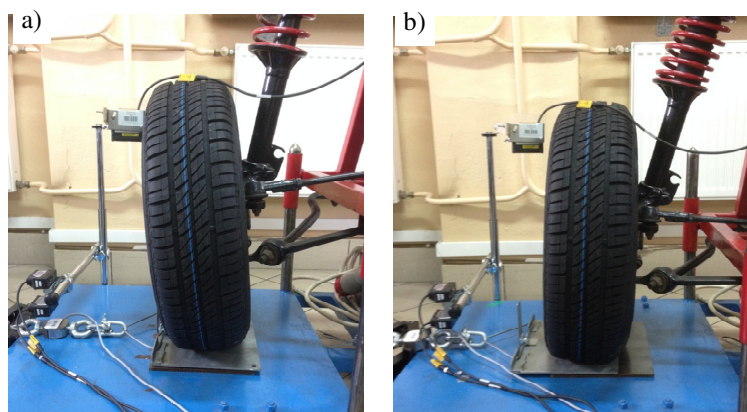


Rysunek 8. Zmiana pola powierzchni styku opony z nawierzchnią w zależności od ciśnienia i kąta pochylenia koła dla obciążenia 4500 N (a) i 6000 N (b)

Wraz ze wzrostem kąta pochylenia koła pole powierzchni śladu styku zmniejsza się. W przypadku obciążenia 6000 N dla ciśnienia 1,2 bar i kąta pochylenia koła 0° pole powierzchni styku wynosi $174,37 \text{ cm}^2$. Dla kąta pochylenia koła 2° pole powierzchni śladu zmniejsza się do wartości $165,8 \text{ cm}^2$, a dla kąta 4° do $154,76 \text{ cm}^2$. Największa wartość pola powierzchni styku osiągnięta została dla obciążenia 6000 N przy minimalnym ciśnieniu -1,2 bar oraz przy kącie pochylenia koła 0° .

3.4. Pomiar wpływu kąta pochylenia koła na warunki współpracy opony z nawierzchnią drogi

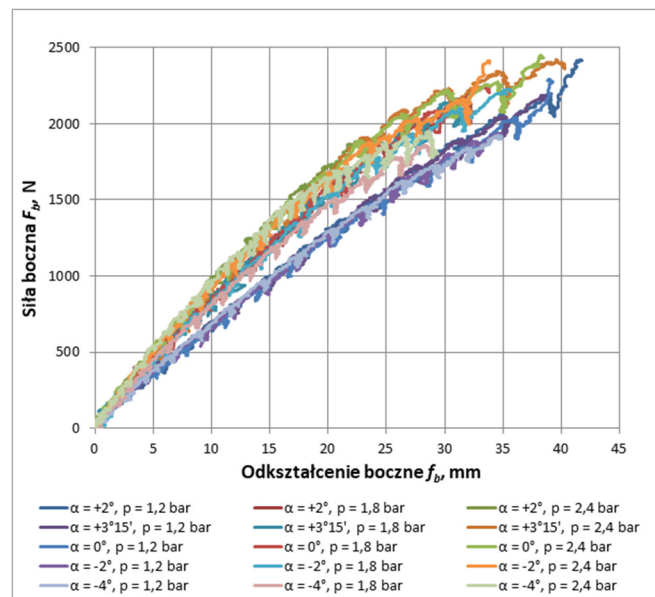
Metodyka pomiarów wpływu kąta pochylenia koła na warunki współpracy opony z nawierzchnią drogi w dużym stopniu pokrywała się z metodyką pomiaru śladu styku opony z nawierzchnią drogi. Na stanowisku badawczym ustawiane były kolejno kąty pochylenia koła (Rysunek 9) równe: $\alpha = -4^\circ, -2^\circ, 0^\circ, 2^\circ$ oraz $+3^\circ 15'$. Dla każdego ustawienia kąta pochylenia koła zmieniane było również ciśnienie ogumienia, a obciążenie pionowe działające na koło posiadało stałą wartość.



Rysunek 9. Ustawienie kąta pochylenia koła: a) dodatni kąt, b) ujemny kąt pochylenia koła

Pomiary wykonano dla następujących wartości ciśnienia powietrza w oponach: 1,2 bar, 1,8 bar i 2,4 bar. Dla poszczególnych stanów pomiarowych zadawane było obciążenie pionowe równe 6000 N. Symulowanie działania siły bocznej realizowano z wykorzystaniem podnośnika trapezowego. Podczas pomiarów wartość siły bocznej narastała w czasie aż do osiągnięcia granicznej wartości maksymalnej, przy której następował uślizg boczny opony.

Na rysunku 10 przedstawiono zarejestrowane przebiegi dla wszystkich przeprowadzonych prób.



Rysunek 10. Wyniki pomiarów zależności siły bocznej F_b i odkształcenia bocznego opony f_b dla wszystkich rozważanych przypadków

Na podstawie otrzymanych wyników można wnioskować, że wraz ze zmniejszaniem się ciśnienia, odkształcenie boczne opony osiąga większe wartości przy takich samych wartościach siły bocznej.

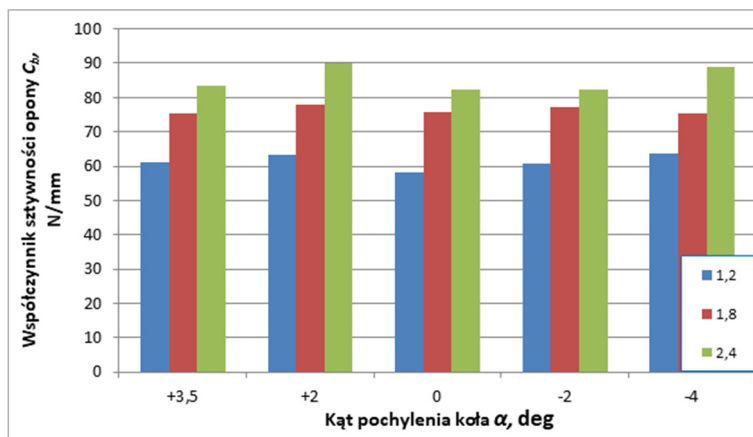
W tabeli 1 zestawiono wartości współczynnika sztywności opony C_b w N/mm dla wszystkich wariantów pomiarów.

Tabela 1. Współczynniki sztywności bocznej opony C_b , N/mm

Kąt pochylenia koła α deg	Ciśnienie p , bar		
	1,2	1,8	2,4
+3°15'	61,2	75,5	83,6
+2°	63,3	78,0	90,0
0°	58,3	75,5	82,3
-2°	60,9	77,2	82,4
-4°	63,5	75,5	88,6

Z danych zestawionych w tabeli 1 wynika, że spadek ciśnienia w oponie powoduje zmniejszenie wartości współczynnika sztywności C_b . Ponadto niższe wartości współczynnika sztywności można zauważyć dla zerowego kąta pochylenia koła α .

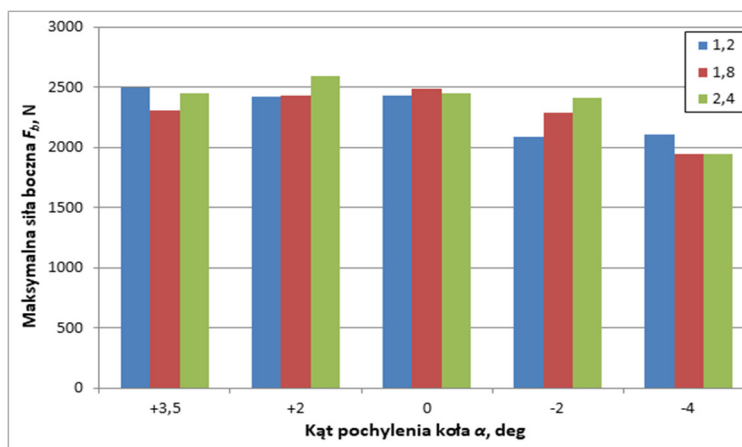
Dane zamieszczone w tabeli 1 przedstawiono na rysunku 11 w postaci wykresu kolumnowego.



Rysunek 11. Porównanie wartości współczynnika sztywności opony C_b dla rozważanych kątów pochylenia koła α i ciśnień opony p

Wykres przedstawiony na rysunku 11 ilustruje zmianę współczynnika sztywności opony w zależności od zmiany ciśnienia oraz kąta pochylenia koła. Dla każdego przypadku ustawienia kąta pochylenia koła wzrost ciśnienia powietrza w ogumieniu powoduje wzrost współczynnika sztywności opony. Maksymalny współczynnik sztywności opony zaobserwowany został dla kąta pochylenia $\alpha = +2^\circ$ i wyniósł $C_b = 90$ N/mm, a minimalny dla kąta pochylenia koła $\alpha = 0$, równy $C_b = 58,3$ N/mm, jednakże zależności pomiędzy zmianą kąta pochylenia koła.

Na rysunku 12 przedstawiono maksymalne wartości siły bocznej przenoszonej przez oponę dla każdego rozważanego przypadku pomiarów.



Rysunek 12. Porównanie wartości maksymalnej siły bocznej F_b dla rozważanych kątów pochylenia koła α i wartości ciśnień opony p

Wykres przedstawiony na rysunku 12 ilustruje wpływ zmiany kąta pochylenia koła α i ciśnienia powietrza w ogumieniu p na wartość maksymalnej siły bocznej F_b . Maksymalną wartość siły bocznej odnotowano dla kąta pochylenia koła $\alpha = +2^\circ$ i ciśnienia $p = 2,4$ bar – równą $F_b = 2596,42$ N, z kolei minimalną wartość uzyskano dla kąta pochylenia koła $\alpha = -4^\circ$ i ciśnienia $p = 1,8$ bar – $F_b = 1942,85$ N.

Zmiana kąta pochylenia koła od wartości zerowej w stronę wartości dodatnich nie wpływa w wyraźny sposób na wzrost lub spadek wartości maksymalnej siły bocznej. Niezależnie od wartości ciśnienia powietrza w ogumieniu, podczas zmiany kąta pochylenia koła od wartości zerowej w stronę wartości ujemnych następuje zauważalny spadek wartości maksymalnej siły bocznej. Powodowane jest to tym, że przed nastąpieniem uślizgu, przy ujemnym kącie pochylenia koła opona musi przetoczyć się na mniejszej powierzchni niż przy pochyleniu zerowym bądź dodatnim. Należy tutaj zaznaczyć, że podczas badań wektor działającej siły bocznej skierowany był na zewnątrz koła.

4. Podsumowanie i wnioski

Praca dotyczyła analizy wpływu kąta pochylenia koła na warunki współpracy opony z nawierzchnią jezdni. W artykule opisano metodykę prowadzenia badań doświadczalnych, wykorzystywane stanowisko badawcze i aparaturę pomiarową. Przeprowadzone badania obejmowały analizę wpływu kąta pochylenia koła na ślad współpracy opony z nawierzchnią oraz warunki współpracy opony z nawierzchnią drogi. W badaniach obok zmian wartości kąta pochylenia koła, analizie poddano wpływ zmiany ciśnienia w ogumieniu oraz obciążenia pionowego koła. Badaniom poddano oponę miejskiego samochodu osobowego o rozmiarze 155/85 R13 79T, M+S.

W pierwszym etapie badań rozważone zostało pole powierzchni ślady współpracy opony z jezdnią. Badania przeprowadzone zostały dla trzech wartości kąta pochylenia koła: $\alpha = 0^\circ$, 2° i 4° , wybranych ciśnień opon ($p = 1,2$ bar, $1,8$ bar oraz $2,4$ bar) oraz obciążeń pionowych ($F_z = 4500$ N i 6000 N). Zastosowane ciśnienia powietrza w oponach ilustrują występowanie w kołach pojazdu ciśnienia o obniżonej wartości, ciśnienia nominalnego i ciśnienia o podwyższonej wartości. Pozwoliło to na określenie, w jakim stopniu kąt pochylenia koła wpływa na powierzchnię styku opony z jezdnią oraz inne parametry (długość śladu, szerokość śladu, przesunięcie śladu opony względem płaszczyzny symetrii opony) w zmiennych warunkach eksploatacji pojazdu.

Wzrost kąta pochylenia koła oraz ciśnienia powietrza w oponach prowadził do zmniejszania się pola powierzchni śladu współpracy opony z nawierzchnią.

W przypadku obciążenia 6000 N dla ciśnienia $1,2$ bar i kąta pochylenia koła 0° pole powierzchni styku wynosi $174,37$ cm². Dla kąta pochylenia koła 2° pole powierzchni śladu współpracy spada o około 5% , a dla kąta 4° o ponad 11% . Największa wartość pola powierzchni styku osiągnięta została dla obciążenia 6000 N przy minimalnym ciśnieniu $1,2$ bar oraz przy kącie pochylenia koła 0° .

Zmiana położenia środka śladu styku opony z nawierzchnią względem środka opony jest niewielka dla względnie małych wartości kąta pochylenia koła $\alpha = 2^\circ$, i bardziej widoczna dla dużej wartości kąta pochylenia koła $\alpha = 4^\circ$, szczególnie dla podwyższonej wartości ciśnienia $p = 2,4$ bar. Jest to ważne, gdyż bezpośrednio

wpływa na istotny parametr konstrukcji zawieszenia pojazdu jakim jest promień zataczania.

Podczas badań wpływu działania siły bocznej na warunki współpracy opony z nawierzchnią jezdni zastosowano tylko jedno obciążenie pionowe $F_z = 6000$ N. Kąty pochylenia koła zmieniane były w zakresie od $+3^{\circ}15'$ do -4° , a przyjęte ciśnienia powietrza w ogumieniu wynosiły 1,2 bar, 1,8 bar i 2,4 bar. W tym przypadku widoczny jest spadek wielkości maksymalnej siły bocznej F_b występującej w śladzie opony z nawierzchnią wraz ze zmianą kąta pochylenia koła α w stronę wartości ujemnych. Ponadto stwierdzono znaczny wzrost współczynnika sztywności opony C_b wraz ze zwiększaniem się ciśnienia ($p = 2,4$ bar) i jej spadek wraz ze zmniejszaniem do $p = 1,2$ bar.

Przeprowadzone badania wykazały, że zmiany kąta pochylenia koła, ciśnienia powietrza w ogumieniu, a także obciążenia pojazdu mogą w znacznym stopniu przyczynić się do zmiany warunków współpracy opony z jezdnią poprzez zmianę powierzchni śladu współpracy opony z nawierzchnią oraz zmianę sztywności bocznej.

LITERATURA

1. ANDRZEJEWSKI R.: Dynamika pneumatycznego koła jezdniego, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
2. REIMPELL J., BETZLER J.: Podwozia samochodów podstawy konstrukcji, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001.
3. REŃSKI A.: Budowa samochodów Układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszenia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004
4. SIŁKA W.: Teoria ruchu samochodu, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
5. ARCZYŃSKI S.: Mechanika ruchu samochodu, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993.
6. PARCZEWSKI K., WNEK H.: Impact of tire inflation pressure during overcoming of road unevenness. 21th International Scientific Conference Transport Means; 2017.
7. PARCZEWSKI K.: Effect of tyre inflation preassure on the vehicle dynamics during braking manouvre (Wpływ ciśnienia w ogumieniu na dynamikę ruchu pojazdu podczas manewru hamowania). Eksploatacja i Niezawodność (Maintenance and Reliability), 2013 : Vol. 15, No. 2, s. 134-139.
8. SZCZYGLAK P., NAPIÓRKOWSKI J., RYKOWSKI K.: Wpływ ciśnienia w ogumieniu na opory toczenia kół pojazdów. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 2016, t. 17, nr 6, s. 1161-1165.
9. JAWORSKI J.: Ogumienie pojazdów samochodowych budowa i eksploatacja, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.
10. STUZIŃSKI K.: Samochód teoria, konstrukcja i obliczenia, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1973.