

Witold Luty¹⁾

WYZNACZANIE PARAMETRÓW MODELU NABIEGANIA OGUMIENIA NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych ogumienia samochodu ciężarowego w niestabilnych warunkach znoszenia bocznego koła. Pokazano sposób aproksymacji wyników badań poprzez dopasowanie modelu nabiegania do charakterystyki nabiegania koła ogumionego. Przedstawiono sposób ręcznego oraz zautomatyzowanego doboru długości drogi nabiegania, z uwzględnieniem zmiany wartości obciążenia normalnego koła oraz zadawanego kąta znoszenia. Przedstawiono uproszczoną metodę określenia parametrów nabiegania na podstawie znanej wartości sztywności bocznej opony. Metoda umożliwia wyznaczenie wartości długości drogi nabiegania i jej zastosowanie bezpośrednio w modelu współpracy koła ogumionego z podłożem, z uwzględnieniem niestabilnych stanów znoszenia bocznego.

Słowa kluczowe: właściwości ogumienia, znoszenie boczne ogumienia, nabieganie ogumienia.

WPROWADZENIE – NABIEGANIE OGUMIENIA W UJĘCIU MODELOWYM

Proces nabiegania opony zachodzący w wyniku zadania skokowej zmiany wartości kąta znoszenia koła przedstawiono na rysunku 1. Podczas nabiegania narasta odkształcenie boczne opony, zmienia się kształt współpracy czoła opony z podłożem, a reakcja boczna F_y zmienia się wraz z przebytą przez koło drogą, aż do osiągnięcia takiej wartości, jaką koło przenosi w ustalonych warunkach ruchu, gdy $\delta = \text{const}$, $F_z = \text{const}$. i $s_x = \text{const}$.

Uwzględnienie nabiegania ogumienia w modelu współpracy koła z podłożem wymaga zastosowania modelu nabiegania ogumienia. Jednym z takich modeli jest model znany jako IPG-TIRE [1]. Model ten jest zwany modelem dynamiki ogumienia I rzędu [2], jest opisany równaniem, charakterystycznym dla typowego elementu inercyjnego I rzędu:

$$F_y(t) = F_{yu} - t_n \cdot \dot{F}_y(t) \quad (1)$$

gdzie: F_{yu} – reakcja boczna przenoszona przez koło w ustalonych warunkach ruchu,
 $F_y(t)$ – chwilowa wartość reakcji bocznej przenoszonej przez koło, podczas procesu jego nabiegania,
 $\dot{F}_y(t)$ – pochodna zmian wartości reakcji bocznej F_y w funkcji czasu,
 t_n – stała równania – czas nabiegania.

¹⁾ Wydział Transportu, Politechnika Warszawska, e-mail: wluty@it.pw.edu.pl

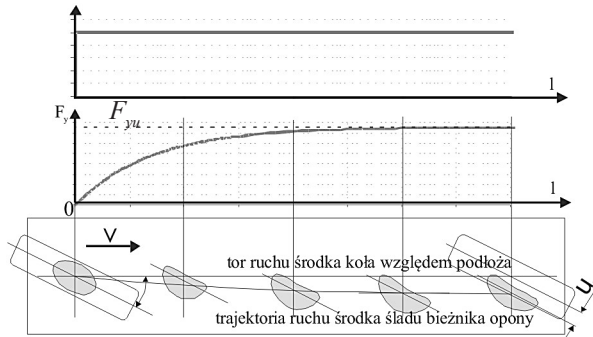
Czas nabiegania t_n jest to właściwie stała czasowa, która charakteryzuje tempo podążania wartości reakcji bocznej $F_y(t)$, za zmianami wartości reakcji bocznej F_{yu} . Na modelowej charakterystyce nabiegania, czas nabiegania t_n ma swoją interpretację geometryczną. Jest to odcinek czasu zawarty pomiędzy dowolnym punktem styczności linii prostej do charakterystyki nabiegania, a punktem przecięcia tej samej linii stycznej z poziomem wartości reakcji bocznej F_{yu} , jaką koło przenosi w ustalonych warunkach ruchu (rys. 2). W modelu współpracy koła z podłożem można stosować inną postać formuły, po wprowadzeniu w miejsce czasu nabiegania zależności:

$$t_n = \frac{L_n}{v_x} \quad (2)$$

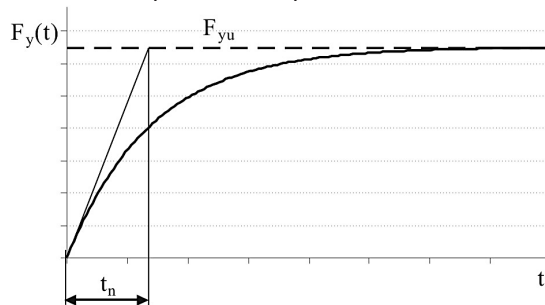
W efekcie podstawienia uzyskuje się następującą postać formuły IPG - TIRE:

$$F_y(t) = F_{yu} - \frac{L_n}{v_x} \cdot \dot{F}_y(t) \quad (3)$$

gdzie: L_n – droga nabiegania, określona w dziedzinie przemieszczenia w kierunku wzdłużnym,
 v_x – wzdłużna składowa prędkości środka koła względem podłoża.



Rys. 1. Przebieg nabiegania ogumienia na skutek skokowej zmiany wartości kąta znośnienia δ : v – prędkość przemieszczania środka koła względem podłoża; l – przemieszczenie środka koła względem podłoża; u_y – ugięcie boczne powłoki opony, F_y – reakcja boczna, przenoszona przez koło



Rys. 2. Krzywa nabiegania koła ogumionego w wyniku skokowej zmiany wartości kąta znośnienia – interpretacja współczynników równania IPG-TIRE

Znajomość długości drogi nabiegania opony L_n umożliwia zarówno zastosowanie modelu formuły IPG-TIRE w modelu współpracy koła ogumionego z podłożem jak i porównanie właściwości ogumienia. Jednak wyznaczenie wartości tego parametru wymaga dysponowania charakterystykami nabiegania ogumienia, uzyskanymi na podstawie badań eksperymentalnych ogumienia. Wykonanie badań eksperymentalnych wymaga zastosowania specjalnych metod i stanowisk badawczych, umożliwiających wymuszenie nieustalonych warunków znoszenia bocznego oraz pomiar sił przenoszonych przez koło [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Przedstawienie problematyki wyznaczania długości drogi nabiegania oraz wykorzystania wyników badań eksperymentalnych w badaniach symulacyjnych pojazdu jest głównym celem pracy.

METODYKA WYZNACZENIA DŁUGOŚCI DROGI NABIEGANIA NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH OGUMIENIA

Podczas badań na stanowisku do badań ogumienia w warunkach quasistatycznych, koło jest dociskane do bieżni wózka z określoną siłą oraz wstępnie ustawione w stosunku do kierunku przemieszczania bieżni stanowiska pod kątem δ , który jest jego kątem znoszenia (rys. 3). Rozpoczęcie przemieszczania bieżni stanowiska powoduje toczenie się koła ze znoszeniem bocznym z prędkością wypadkową v względem powierzchni bieżni oraz narastanie ugięcia opony u_y i wartości reakcji bocznej F_y w sposób typowy dla nabiegania. Wyznaczona charakterystyka nabiegania ogumienia jest wyrażona, jako przebieg zmian wartości reakcji bocznej F_y , przenoszonej przez koło w funkcji mierzonego przemieszczenia l bieżni stanowiska, współpracującej z kołem. Przemieszczenie bieżni stanowiska l , jest przemieszczeniem wypadkowym koła wzdłuż wektora wypadkowej prędkości środka koła v względem podłoża (rys. 3a). Długość drogi nabiegania L_n oraz wzdłużna składowa prędkości v_x są określone w równaniu 3 w dziedzinie składowej przemieszczenia wzdłużnego koła l_x . Natomiast w dziedzinie prędkości wypadkowej środka koła v oraz przemieszczenia wypadkowego l (mierzonego podczas badań eksperymentalnych) długość drogi nabiegania wynosi $L_n/\cos\delta$.

Wartość długości drogi nabiegania L_n można wyznaczyć dokonując aproksymacji charakterystyki nabiegania opony, przy pomocy funkcji, określonej równaniem IPG-TIRE. Konieczna jest jednak zmiana dziedziny równania IPG-TIRE (r. 3) z czasu t na przemieszczenie l środka koła względem podłoża według równań 4-7.

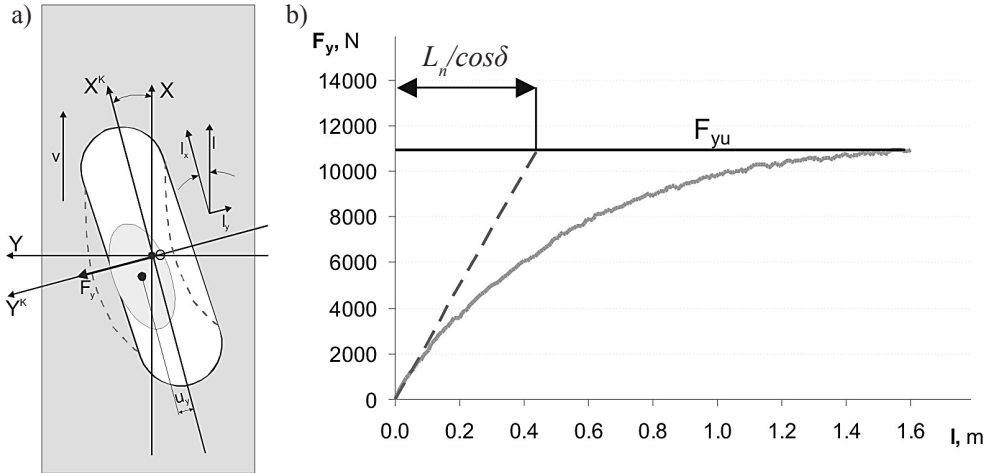
Przyjmując, że:

$$v_x = \frac{dl_x}{dt} \quad (4)$$

równanie IPG-TIRE (r.3) otrzyma następującą równoważną postać:

$$F_y(l_x) = F_{yu} - L_n \cdot \frac{dF_y}{dl_x} \quad (5)$$

Po uwzględnieniu zależności (rys. 3a):



Rys. 3. Schemat wyznaczania charakterystyki nabiegania opony na stanowisku do quasistatycznych badań ogumienia: a) schemat ustawienia i kinematyka ruchu koła względem bieżni stanowiska; b) przykładowa charakterystyka nabiegania badanego koła (obciążenie normalne koła $F_z=2000\text{N}$, kąt znoszenia koła $\delta = 5^\circ$); OXY – układ odniesienia względem podłoża, OX^KY^K – układ odniesienia względem koła, v – prędkość przemieszczania się środka koła względem ruchomej bieżni, l – przemieszczenie środka koła względem ruchomej bieżni, l_x – składowa przemieszczenia środka koła względem ruchomej bieżni w kierunku wzdłużnym do płaszczyzny koła, l_y – składowa przemieszczenia środka koła względem ruchomej bieżni w kierunku poprzecznym do płaszczyzny koła, u_y – ugięcie powłoki opony w kierunku bocznym, F_y – reakcja boczna przenoszona przez koło; F_{yu} – reakcja boczna przenoszona przez koło w ustalonych warunkach znoszenia bocznego

$$l_x = l \cdot \cos \delta \tag{6}$$

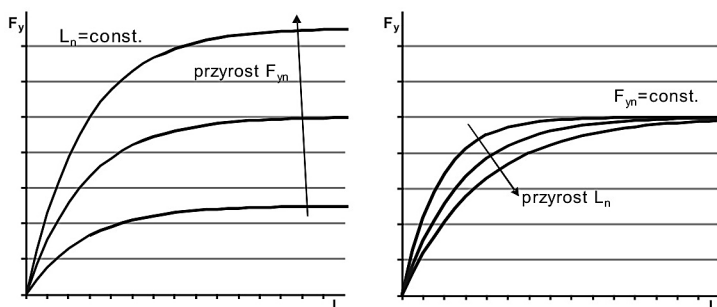
równanie IPG-TIRE (r.3) otrzyma następującą postać:

$$F_y(l) = F_{yu} - \frac{L_n}{\cos \delta} \cdot \frac{dF_y}{dl} = F_{yu} - \frac{L_n}{\cos \delta} \cdot \dot{F}(l) \tag{7}$$

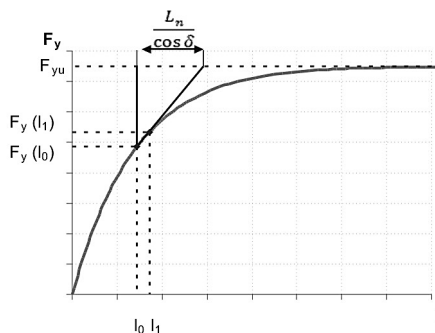
Jak pokazano na rysunku 4, dla ustalonej wartości kąta znoszenia δ , przebieg funkcji IPG-TIRE można kształtować przy pomocy jej dwóch współczynników L_n oraz F_{yu} . Dobierając wartości wskazanych współczynników można dopasować przebieg funkcji IPG-TIRE do charakterystyki nabiegania opony, wyznaczonej w określonych warunkach ruchu. Wartość reakcji bocznej F_{yu} może być samoczynnie odczytana jako wartość ustalona w końcowym etapie charakterystyki nabiegania badanego koła (rys. 3.b). Zatem w praktyce aproksymacja charakterystyki nabiegania koła ogumionego, sprowadza się tylko do doboru długości drogi nabiegania L_n w określonych warunkach ruchu koła.

Zastosowanie równania modelu IPG-TIRE do aproksymacji charakterystyk nabiegania ogumienia wymaga przyjęcia poprawnego sposobu obliczeń

wartości reakcji bocznej F_y w funkcji przemieszczenia l , zgodnie z równaniem 7. Na rysunku 5 pokazano schemat obliczeń wykonywanych dla kolejnego punktu charakterystyki nabiegania (współrzędne z indeksem 1) na podstawie współrzędnych poprzedniego punktu (współrzędne z indeksem 0).



Rys. 4. Przykład możliwości kształtowania funkcji IPG-TIRE poprzez dobór wartości współczynników równania – długości drogi nabiegania L_n oraz wartości reakcji bocznej F_{yu} przenoszonej w ustalonych warunkach ruchu koła



Rys. 5. Schemat obliczeń iteracyjnych, wykonywanych w celu zbudowania charakterystyki nabiegania opony według modelu IPG-TIRE

Przy ustalonych wartościach współczynników równania IPG-TIRE, w tym reakcji bocznej F_{yu} , kąta znoszenia koła δ i długości drogi nabiegania L_n , dla punktu charakterystyki o współrzędnych l_0 i $F_y(l_0)$, wartość reakcji bocznej przenoszonej przez koło w kolejnym kroku obliczeń $F_y(l_1)$ wyrażono zgodnie z równaniem:

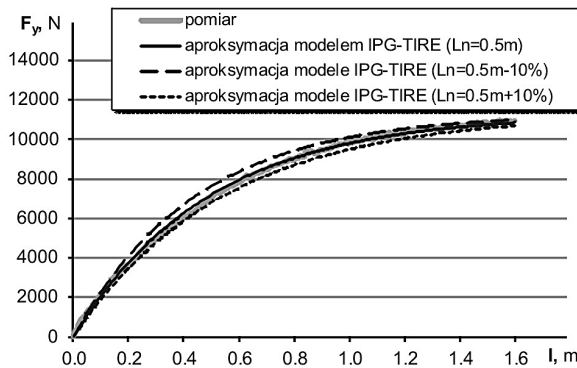
$$F_y(l_1) = F_y(l_0) + \frac{F_{yu} - F_y(l_0)}{\frac{L_n}{\cos \delta}} \cdot \Delta l \quad (8)$$

gdzie krok obliczeń: $\Delta l = l_1 - l_0$ (9)

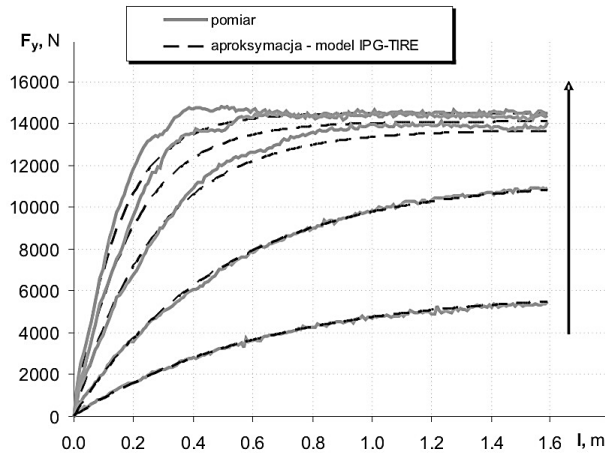
Przykład aproksymacji charakterystyki nabiegania ogumienia pokazano na rysunku 6. Przyjęta wartość długości drogi nabiegania $L_n = 0.5m$, w opisa-

nych warunkach ruchu zapewniła dobre przybliżenie modelu do przebiegu rzeczywistej charakterystyki nabiegania. W tym przypadku dobór wartości długości drogi nabiegania L_n jest stosunkowo prosty. Przy samoczynnym doborze wartości reakcji bocznej F_{yu} , nawet zmiany wartości długości drogi nabiegania L_n o 10% powodują nieznaczne pogorszenie dopasowania modelu do rzeczywistego przebiegu charakterystyki, co również pokazano na rysunku 6. W tym miejscu przyjęto, że niepewność doboru wartości długości drogi nabiegania $u_{L_n} = \pm 10\%$, jest w pełni akceptowalna.

Wyniki aproksymacji charakterystyk nabiegania ogumienia, wyznaczone w szerokim zakresie zmian wartości kąta znoszenia δ pokazano na rysunku 7.



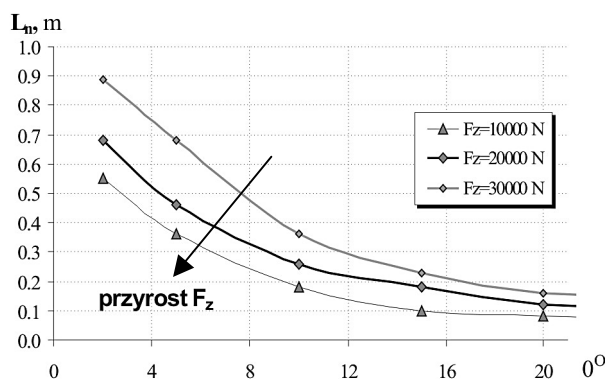
Rys. 6. Przykład aproksymacji charakterystyki nabiegania ogumienia samochodu ciężarowego średniej ładowności ($F_z=2000N$, $F_{yu}=11300N$, $\delta=5^\circ$)



Rys. 7. Przykładowe przebiegi zmiany wartości reakcji bocznej F_y , przenoszonej przez koło ogumione po wprowadzeniu skokowej zmiany kąta znoszenia koła δ , w funkcji przebytej drogi l

Jak widać, zastosowany model daje zadowalające rezultaty aproksymacji charakterystyki nabiegania ogumienia, szczególnie w eksploatacyjnym zakresie tzn. w zakresie małych i średnich wartości kąta znoszenia koła δ . Można uznać, że dla wartości kąta znoszenia δ do 15° dopasowanie modelu do wyniku pomiaru jest praktycznie bardzo dobre. Natomiast przy większych wartościach kąta znoszenia δ (ponad 15°), dopasowanie modelu IPG-TIRE do wyznaczonych charakterystyk nabiegania ogumienia jest gorsze, choć jakościowo zadowalające. Taki stan jest akceptowalny ponieważ przy zastosowaniu prostego modelu zapewnia on bardzo dobre wyniki w przedziale eksploatacyjnych wartości kąta znoszenia koła. Zarówno w rzeczywistości, jak i w badaniach symulacyjnych większych wartości kąta znoszenia praktycznie się nie osiąga, chyba że w stanie utraty stateczności ruchu pojazdu. W takich przypadkach nieustalone stany znoszenia bocznego ogumienia i tak nie mają większego znaczenia z punktu widzenia dynamiki poprzecznej pojazdu.

Zestawienie wartości długości drogi nabiegania L_n , wyznaczonych na podstawie wyników badań eksperymentalnych przedstawiono na rysunku 8. Dodatkowo pokazano wartości długości drogi nabiegania L_n , wyznaczone analogicznie dla innych wartości obciążenia normalnego koła.



Rys. 8. Zestawienie wyznaczonych wartości długości drogi nabiegania L_n , wyznaczone dla różnych wartości obciążenia normalnego koła F_z (opona samochodu ciężarowego średniej ładowności)

Dla ustalonej wartości obciążenia normalnego koła F_z otrzymano zależność, według której wartość długości drogi nabiegania L_n wyraźnie zmniejsza się wraz ze wzrostem wartości kąta znoszenia δ . Taka zależność jest przedstawiana również w pracach własnych jak i publikacjach innych autorów [3, 4, 5].

ANALIZA MOŻLIWOŚCI UPROSZCZENIA METODY WYZNACZANIA DŁUGOŚCI DROGI NABIEGANIA I STOSOWANIA WYNIKÓW BADAŃ W MODELU WSPÓŁPRACY KOŁA OGUMIONEGO Z PODŁOŻEM

Przedstawiona wcześniej metodyka wyznaczenia wartości długości drogi nabiegania L_n ogumienia oraz forma uzyskanych wyników skłaniają do zastanowienia nad możliwością usprawnienia zarówno procesu obróbki wyników, jak i sposobu stosowania wyników badań w badaniach symulacyjnych pojazdu, w modelu współpracy koła ogumionego z podłożem.

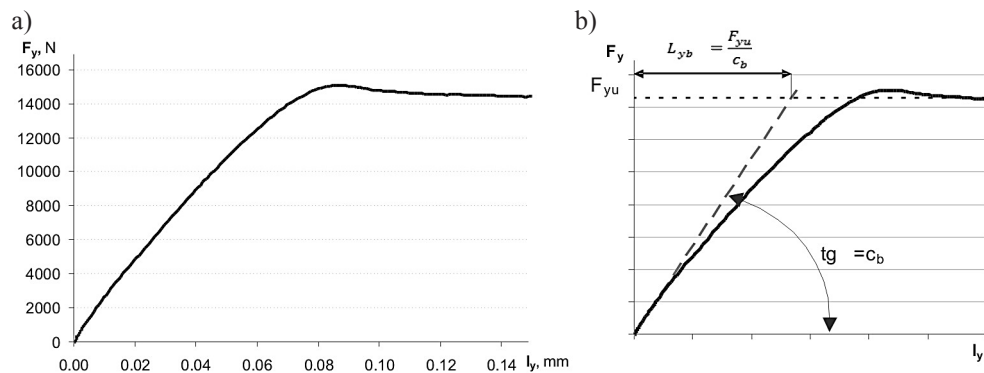
Każda wartość długości drogi nabiegania opony L_n , wyznaczona w procesie aproksymacji wyników badań jest przypisana do określonej wartości obciążenia normalnego F_z oraz zadanego kąta znoszenia koła δ . Jest więc dobierana indywidualnie dla określonych warunków ruchu koła metodą podstawiania, tak aby w efekcie dopasować modelową charakterystykę nabiegania koła do charakterystyki wyznaczonej eksperymentalnie. Siłą rzeczy proces obróbki wyników jest procesem uzyskiwania kolejnych przybliżeń i bieżącej weryfikacji stopnia dopasowania charakterystyk. Jednocześnie wyniki obliczeń są zestawione w formie przedstawionej na rysunku 8, tzn. w postaci wartości długości drogi nabiegania L_n w funkcji krokowo zmieniających się wartości kąta znoszenia koła δ . Zatem, podczas realizacji obliczeń symulacyjnych, konieczne jest przyjęcie określonego sposobu doboru wartości długości drogi nabiegania L_n dla chwilowej wartości kąta znoszenia koła δ np. metody interpolacji. Wiedza dostarczona przez literaturę oraz własne doświadczenia umożliwiły dokonanie uproszczenia procedury doboru wartości długości drogi L_n nabiegania zarówno w procesie obróbki wyników badań jak i w obliczeniach symulacyjnych.

Bazując na teorii procesu nabiegania przedstawionej w pracy [10], a potem omawianej w innych pracach [11, 12], nabieganie ogumienia podczas zmiany warunków znoszenia bocznego koła jest skutkiem zmiany odkształcenia powłoki opony w kierunku poprzecznym. W ujęciu modelowym można stwierdzić, że reakcja boczna F_y , która powstaje w strefie styku opony z podłożem, jako skutek znoszenia bocznego koła, jest przenoszona na obręcz koła poprzez element sprężysty, jakim jest sama opona. Właściwości sprężyste opony w kierunku poprzecznym są określane przy pomocy charakterystyki sprężystości bocznej, którą można wyznaczyć w warunkach laboratoryjnych, jako zależność reakcji bocznej F_y od przemieszczenia koła względem podłoża w kierunku poprzecznym do płaszczyzny koła l_y . [13]. Przykładowy przebieg takiej charakterystyki przedstawiono na rysunku 9 wraz z opisem typowych cech takiej charakterystyki.

W początkowej fazie przemieszczenia koła względem podłoża narastanie wartości reakcji bocznej jest związane z odkształceniem sprężystym opony. Dlatego przemieszczenie l_y w tym zakresie jest praktycznie jednoznaczne z ugięciem opony w kierunku bocznym u_y , a współczynnik nachylenia $\tan \alpha$ linii stycznej do charakterystyki w zakresie małych wartości przemieszczenia bocznego l_y może być traktowany, jako współczynnik sztywności bocznej opony c_b .

Przedstawiona charakterystyka sprężystości bocznej ma cechy analogiczne do charakterystyki nabiegania koła ogumionego (rys. 2, rys. 3b). W procesie nabiegania koła wartość przenoszanej reakcji bocznej F_y narasta wraz z ugięciem bocznym opony, a ugięcie boczne opony wywołane jest przemieszczaniem się koła w kierunku poprzecznym względem podłoża zgodnie ze składową przemieszczenia l_y . (rys. 3a).

Na charakterystyce sprężystości bocznej opony można zaznaczyć odciętą L_{yb} (rys 9b), której znaczenie jest analogiczne do długości drogi nabiegania L_n na charakterystyce nabiegania koła (rys. 3b).



Rys. 9. Charakterystyka sprężystości bocznej opony; a) przykład rzeczywistej charakterystyki opony samochodu ciężarowego średniej ładowności ($F_z = 20\ 000\ \text{N}$); b) opis charakterystyki i interpretacja geometryczna jej parametrów; (opis w tekście)

Jeśli charakterystyka nabiegania koła ogumionego zostanie wyrażona w dziedzinie składowej przemieszczenia koła w kierunku poprzecznym zgodnie z wyrażeniem:

$$l_y = l \cdot \sin \delta \tag{10}$$

to można się spodziewać, że otrzymana postać charakterystyki nabiegania będzie przynajmniej w części przebiegu zgodna z charakterystyką sprężystości bocznej opony.

Tak przekształcone charakterystyki nabiegania pokazano na rysunku 10 na tle charakterystyki sprężystości bocznej tej samej opony. Na zestawieniu widać, że w zakresie małych wartości przemieszczenia poprzecznego koła l_y , a więc w zakresie odkształcenia sprężystego opony charakterystyki praktycznie pokrywają się. W efekcie w zakresie małych wartości przemieszczenia l_y przebieg charakterystyk determinuje ten sam wskaźnik, którym jest sztywność boczna opony c_b .

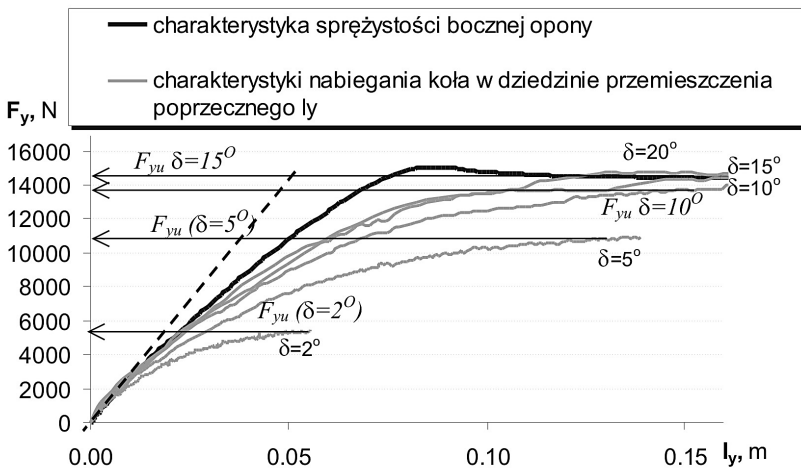
W zakresie większych wartości przemieszczenia bocznego l_y , różnice pomiędzy przebiegami charakterystyk wynikają tylko z maksymalnej wartości przenoszanej reakcji bocznej F_{yu} . W przypadku charakterystyki sprężystości bocznej, siła F_{yu} jest siłą bocznej przyczepności poślizgowej. W przypadku charakterystyk nabiegania siła F_{yu} jest siłą, jaką koło może przenieść w ustalonych warunkach znoszenia bocz-

nego i narasta wraz z kątem znoszenia δ , ale tylko do wartości siły przyczepności bocznej. Ograniczenie to widać przy dużych wartościach kąta znoszenia δ (rys.10).

Na podstawie przygotowanego zestawienia charakterystyk można stwierdzić, że charakterystyki nabiegania koła ogumionego są praktycznie rozwinięciem charakterystyki sprężystości bocznej opony w dziedzinie przemieszczenia koła względem podłoża l , wyrażonego według zależności:

$$l = \frac{l_y}{\sin \delta} \tag{10}$$

ale z ograniczeniem wartości maksymalnej reakcji bocznej do wartości F_{yu} , jako siły odporności opony na znoszenie boczne, w danych warunkach ruchu koła.



Rys. 10. Charakterystyki nabiegania opony samochodu ciężarowego średniej ładowności wyrażone w dziedzinie przemieszczenia koła w kierunku poprzecznym l_y , zestawione na tle charakterystyki sprężystości bocznej opony ($F_z = 20\ 000\ \text{N}$)

Na podstawie zestawienia charakterystyk i znanej wartości współczynnika sztywności bocznej opony c_b oraz maksymalnej wartości przenoszonej reakcji bocznej F_{yu} , dla każdej z charakterystyk nabiegania koła można wyznaczyć wartość odciętej L_{yb} według zależności:

$$L_{yb}(\delta) = \frac{F_{yu}(\delta)}{c_b} \tag{11}$$

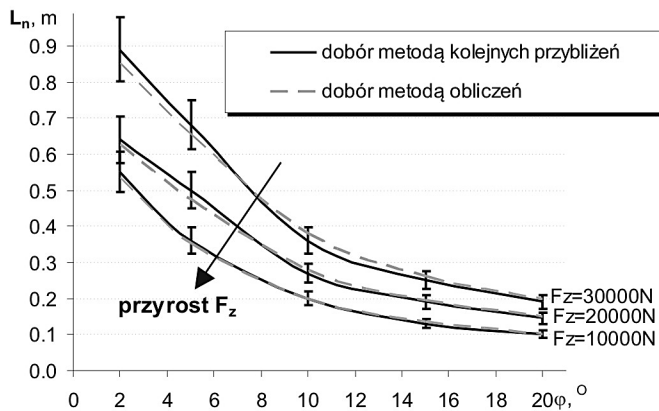
Korzystając ze stwierdzonych analogii pomiędzy charakterystykami nabiegania i charakterystyką sprężystości bocznej opony, wartość odciętej L_{yb} wyznaczona dla poszczególnych wartości kąta znoszenia koła δ można przekształcić do wartości długości drogi nabiegania po zastosowaniu zależności 10. W efekcie otrzymano:

$$\frac{L_n(\delta)}{\cos \delta} = \frac{L_{yb}(\delta)}{\sin \delta} = \frac{F_{yu}(\delta)}{c_b \cdot \sin \delta} \Rightarrow L_n(\delta) = \frac{F_{yu}(\delta)}{c_b \cdot \tan \delta} \tag{12}$$

Otrzymana zależność umożliwi wyznaczenie długości drogi nabiegania opony L_n , w warunkach ruchu określonych kątem znoszenia δ oraz wartością przenoszonej reakcji bocznej F_y , na podstawie znanej wartości współczynnika sztywności bocznej opony c_b . Możliwe jest zatem zastosowanie tej zależności zarówno w procesie obróbki wyników pomiarów w celu zautomatyzowanego określenia długości drogi nabiegania L_n , a także w badaniach symulacyjnych do ustalenia długości drogi nabiegania ogumienia L_n w kolejnych krokach obliczeń symulacyjnych. Do realizacji obliczeń potrzeba są następujące dane:

- bieżąca wartość kąta znoszenia koła δ ,
- wartość sztywności bocznej opony c_b ,
- wartość reakcji bocznej F_{ym} , przenoszonej przez koło w ustalonych warunkach ruchu.

Wynik zastosowania wyrażenia 12 do obróbki wyników pokazano na rysunku 11. Uzyskano bardzo dobrą zgodność obliczeń z wynikami doboru długości drogi nabiegania L_n metodą kolejnych przybliżeń. Wartości drogi nabiegania wyznaczone dwiema metodami różnią się znacznie mniej niż o 10%, a więc mieszczą się w zakresie niepewności uznanej za zadowalającą.



Rys. 11. Zestawienie wartości długości drogi nabiegania L_n , wyznaczonych metodą kolejnych przybliżeń oraz metodą obliczeń

PODSUMOWANIE

Przedstawiono metodykę określenia wartości długości drogi nabiegania ogumienia na podstawie wyników badań eksperymentalnych koła ogumionego w quasistatycznych warunkach badań. Wyznaczone wartości długości drogi nabiegania umożliwiają analizę właściwości opony, a także mogą być wykorzystane w badaniach symulacyjnych pojazdu, do modelowania współpracy koła ogumionego z podłożem.

żem z uwzględnieniem nieustalonych stanów znoszenia bocznego. Wykazano, że w określonym stanie obciążenia normalnego koła długość drogi nabiegania zmniejsza się wraz ze wzrostem wartości kąta znoszenia koła. Taka zależność sprawia, że do wyznaczenia długości drogi nabiegania opony konieczne jest wyznaczenie charakterystyk nabiegania ogumienia w szerokim zakresie zmian wartości kąta znoszenia. Zaproponowano uproszczoną metodę, która umożliwi określenie wartości długości drogi nabiegania opony na podstawie znanej wartości współczynnika sztywności bocznej opony. Metoda została zweryfikowana. Wykazano wysoki stopień zbieżności osiągniętych wyników obliczeń wartości długości drogi nabiegania z wynikami doboru tych wartości na podstawie badań eksperymentalnych. Stosowanie zaproponowanej metody przynosi wymierne korzyści, w tym:

- umożliwienie pozyskania danych do modelowania stanów nieustalonych znoszenia bocznego ogumienia bez konieczności wykonywania badań eksperymentalnych ogumienia w warunkach nabiegania, w szerokim zakresie zmian wartości kąta znoszenia koła; wyznaczenie wartości sztywności bocznej opony wymaga stosowania mniej zaawansowanych i kosztownych metod badań, stanowisk badawczych i wyposażenia pomiarowego,
- obniżenie kosztów i skrócenie czasu przygotowania danych do modelowania współpracy koła ogumionego z podłożem, z uwzględnieniem nieustalonych stanów znoszenia bocznego,
- uproszczenie procedury doboru wartości długości drogi nabiegania w badaniach symulacyjnych oraz skrócenie czasu obliczeń.

LITERATURA

1. Schieschke R., Hiemenz R.: The relevance of tire dynamics in vehicle simulation. XXIII FISITA Congress, Torino 1990.
2. Rill G.: First order tire dynamics. III European Conference on Computational Mechanics Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering C.A. Mota Soares et.al. (eds.) Lisbon 2006.
3. Loeb J. S., Guenther D. A., Chen H. H. F., Ellis J. R.: Lateral stiffness, cornering stiffness and relaxation length of the pneumatic tire. SAE Paper 900129, 1990.
4. Luty W.: Analiza właściwości ogumienia samochodu ciężarowego w nieustalonym stanie znoszenia bocznego. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej 3(38/00).
5. Luty W.: Analiza nabiegania ogumienia nowych konstrukcji podczas toczenia ze znoszeniem bocznym w quasi-statycznych warunkach ruchu. Praca zbiorowa pt. Analiza wpływu ogumienia nowych konstrukcji na bezpieczeństwo samochodu w ruchu krzywoliniowym. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2009, s.19–26.
6. Lee S., Heydinger G. J., Guenther D. A.: The application of pulse input techniques to the study of tire lateral force and self-aligning moment dynamics in the frequency domain. SAE Paper 950317, 1995.

7. Schmid I. Tomaske W: Tire testing facility for simulation of transient operating conditions. ATZ 1, 1984.
8. Zanten R., Erhardt, A. Lutz: Measurement and simulation of transients in longitudinal and lateral tire forces. SAE Paper 900210, 1990.
9. Luty W., PROCHOWSKI L., Szurkowski Z.: Stanowisko do badań ogumienia dużego rozmiaru. VII Międzynarodowe Sympozjum IPM., Warszawa-Rynia 1999.
10. Dietrich R., Schlippe B.: Zur mechanik des luftreifens. Centrale für Wissenschaftliches Berichtwesen, Berlin 1942.
11. Mitschke M.: Dynamika samochodu. WKŁ Warszawa 1977.
12. Lozia Z.: Ocena roli stanów nieustalonych ogumienia w badaniach dynamiki poprzecznej samochodu. VII Międzynarodowe Sympozjum Instytutu Pojazdów Mechanicznych. WAT, Warszawa 1999.
13. Luty W.: Badania eksperymentalne oraz opis analityczny właściwości ogumienia samochodów. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 1(77), 2010, s. 7–26.

DETERMINATION OF TIRE RELAXATION MODEL PARAMETERS BASED ON EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS

Abstract

Experimental research results of truck tire in conditions of not steady-state side cornering are presented in this paper. A way of tire relaxation model approximation to the tire relaxation characteristics, obtained from experimental research have are presented. A way of manual and automated selection of relaxation length value, taking into account changes in the normal load and the wheel cornering angle are presented. A simplified method to determine relaxation parameters basing on the known value of tire lateral stiffness is described. Presented method allows to determine the relaxation length and its direct application in the model of tire-road interaction, including the tire relaxation.

Keywords: tire properties, tire side cornering, tire relaxation.