

AN ANALYSIS OF CORNERING STIFFNESS OF 14.00R20 TIRE WITH RUN-FLAT INSERT

Witold Luty

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport
Koszykowa Street 75, 00-662 Warsaw, Poland
tel.: +48 22 2348564
e-mail: wluty@it.pw.edu.pl

Przemysław Simiński

Military Institute of Armour and Automotive Technology
Okuniewska Street 1, 05-070 Sulejówek, Poland
tel.: +48 22 6811204, fax: +48 22 6811073
e-mail: psim@witpis.mil.pl

Abstract

Research results of 14.00R20 tire, equipped with „run-flat” insert, in aspect of cornering stiffness are presented in this paper. Resistance on side drift is one of the many attributes of automobile wheels tyres, which influences on the useful properties of vehicle. The tire cornering characteristics, determined basing on laboratory research results are shown. These characteristics were determined in wide rage of air inflation pressure and wheel normal load changes, also with no air pressure inside the tire, what corresponds with the case of projectile shooting through the tyre and simultaneously allows the „run-flat” insert to switch into the transfer the components of driving wheel load. In the vehicles appropriated to other jobs than typical transport tasks, drive wheels with the special properties are often used. They are, for example, wheels adapted to the drive with reduced values of air pressure in the tyres in the heavy terrain conditions or wheels equiped with the insert type „run-flat”, adapted to the drive without air in tyre as a result of the penetration or projectile shot through the tire. Such wheels are for a long time used, for example, in the wheeled transporter carriers or in the armored vehicles prepared to the activities in the regions of armed conflicts. Presently, the frequent cases are known of application of „run-flat” insertions also in civilian personal vehicles, as elements for increasing the vehicle security level. Basing on cornering characteristics an analysis of tire properties were carried out. Data for tire road interaction modeling, during side cornering are shown.

Keywords: pneumatic tire, „run-flat” insert, side cornering

ANALIZA ODPORNOŚCI NA ZNOSZENIE BOCZNE OGUMIENIA 14.00R20 Z WKŁADKĄ TYPU ”RUN FLAT”

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań opony o rozmiarze 14.00R20, wyposażonej we wkładkę typu „run-flat” w aspekcie odporności na znoszenie boczne. Odporność na znoszenie boczne to jedna z wielu cech ogumienia kół jezdnych, która wpływa na właściwości użytkowe pojazdu. Przedstawiono charakterystyki odporności na znoszenie boczne, wyznaczone w szerokim zakresie zmian wartości ciśnienia powietrza i obciążenia normalnego koła. Pomiarów wykonano również przy braku powietrza w kole, co odpowiada sytuacji przestrzelenia opony, a jednocześnie umożliwia udział wkładki „run-flat” w przenoszeniu składowych obciążenia koła. W pojazdach przeznaczonych do innych zadań niż typowe zadania transportowe często stosowane są koła jezdne o specjalnych właściwościach. Są to np. koła wyposażone w opony przystosowane do jazdy przy znacznie obniżonych wartościach ciśnienia powietrza w kole w ciężkich warunkach terenowych lub koła wyposażone we wkładkę typu „run-flat”, przystosowane do jazdy bez powietrza w kole na skutek przebicia lub przestrzelenia powłoki opony. Takie koła stosowane są od dawna np. w kołowych transporterach lub samochodach opancerzonych przeznaczonych do działań w rejonach konfliktów zbrojnych. Obecnie znane są częste przypadki zastosowania wkładek „run-flat” również w pojazdach cywilnych, w tym osobowych, jako elementy zwiększające poziom bezpieczeństwa pojazdu. Dokonano analizy wpływu zmian

warunków eksploatacji koła na właściwości ogumienia. Przedstawiono dane do modelowania współpracy koła z podłożem w warunkach toczenia ze znoszeniem bocznym.

Słowa kluczowe: opona pneumatyczna, wkładka „run-flat”, odporność na znoszenie boczne

1. Wstęp

Odporność na znoszenie boczne to jedna z wielu cech ogumienia kół jezdnych, która wpływa na właściwości użytkowe pojazdu. Wiadomo również, że właściwości ogumienia związane ze sposobem przenoszenia przez koła bocznych reakcji stycznych od podłoża na układ jezdny mogą decydować o zachowaniu pojazdu w ruchu krzywoliniowym [1-5]. Wartość reakcji stycznej przenoszonej przez koło ogumione w ruchu krzywoliniowym samochodu zależy od konstrukcji powłoki opony i ciśnienia powietrza w kole, ale także od warunków ruchu koła [6-7]. W ruchu krzywoliniowym pojazdu nie bez znaczenia może być również zjawisko nabiegania ogumienia, szczególnie w przypadku dynamicznych zmian warunków ruchu koła [8-10].

W pojazdach przeznaczonych do innych zadań niż typowe zadania transportowe często stosowane są koła jezdne o specjalnych właściwościach. Są to np. koła wyposażone w opony przystosowane do jazdy przy znacznie obniżonych wartościach ciśnienia powietrza w kole (np. w ciężkich warunkach terenowych) lub koła wyposażone we wkładkę typu „run-flat”, przystosowane do jazdy bez powietrza w kole na skutek przebicia lub przestrzelenia powłoki opony. Takie koła stosowane są od dawna np. w kołowych transporterach lub samochodach opancerzonych przeznaczonych do działań w rejonach konfliktów zbrojnych. Obecnie znane są częste przypadki zastosowania wkładek „run-flat” również w pojazdach cywilnych, w tym osobowych, jako elementy zwiększające poziom bezpieczeństwa pojazdu.

Zmiany ciśnienia powietrza w kole oraz rozszczelnienie opony z wkładką „run-flat” wywołują istotne zmiany jego właściwości, w tym odporności na znoszenie boczne. Zmiany tych właściwości mogą znacznie ograniczać możliwości manewrowania i bezpiecznego poruszania się pojazdu. Stąd wzięła się potrzeba określenia właściwości koła wyposażonego w oponę przystosowaną do pracy w warunkach znacznych zmian wartości ciśnienia powietrza w kole oraz we wkładkę typu „run-flat”. Podstawą do analizy właściwości były charakterystyki odporności koła na znoszenie boczne. Charakterystyki wyznaczono w szerokim zakresie zmian ciśnienia powietrza w kole, od ciśnienia zalecanego podczas jazdy po drogach utwardzonych do ciśnienia o obniżonych wartościach, zalecanego podczas jazdy w warunkach terenowych. Pomiary wykonano również w stanie rozszczelnienia opony. Taki stan odwzorowuje przypadek braku powietrza w kole, w rzeczywistości wywołany jako skutek przebicia, przestrzelenia czy rozerwania powłoki opony. W takim przypadku możliwy jest udział wkładki „run-flat” w przenoszeniu przez koło obciążenia normalnego oraz obciążeń stycznych. Mimo, że prowadzona analiza dotyczy koła transportera opancerzonego, to wnioski z analizy mogą znaleźć zastosowanie w stosunku do kół pojazdów innego przeznaczenia, wyposażonych w tego typu wkładki, również pojazdów osobowych.

2. Obiekt i warunki badań

Obiektem badań było koło ogumione transportera opancerzonego wyposażone we wkładkę typu „run-flat” (Rys. 1.).

Dane ogumienia przedstawiono w Tab. 1. Wkładkę typu „run-flat” stanowi pierścień polimerowy osadzony na obręczy wewnątrz opony. Pierścień charakteryzuje się wysoką wytrzymałością na obciążenia zewnętrzne. W przypadku braku ciśnienia powietrza w kole, może on przenosić obciążenie normalne koła, ale również obciążenia styczne zarówno w kierunku wzdłużnym jak i obwodowym, najczęściej za pośrednictwem czołowej części powłoki opony albo w bezpośrednim kontakcie z podłożem w przypadku, gdy powłoka opony zostanie rozerwana.



Rys. 1. Widok opony transportera opancerzonego z wkładką typu „run-flat”
 Fig. 1. A view of armored vehicle tire with „run-flat” insert

Tab. 1. Podstawowe dane obiektu badań
 Tab. 1 Basic information about research object

Rozmiar opony	Warstwy kordu powłoki opony	Ciśnienie nominalne [kPa]	Obciążenie nominalne [kg]
14.00R20	brak danych	500	3300

3. Metoda badań

Badania wykonano w dwóch etapach:

- etap I - badania eksperymentalne opony, wyznaczenie charakterystyk odporności opony na znoszenie boczne,
- etap II - analiza właściwości opony oraz przygotowanie danych do modelowania współpracy ogumienia z podłożem, w ruchu krzywoliniowym.

Charakterystyki odporności opony na znoszenie boczne wyznaczono w warunkach laboratoryjnych na stanowisku do badań ogumienia dużego rozmiaru [11]. Charakterystyki ogumienia umożliwiły wyznaczenie wartości współczynników modelu współpracy koła z podłożem. W tym przypadku były one aproksymowane przy pomocy modelu Dugoffa[12]. Współczynniki modelu dają możliwość odtworzenia charakterystyk odporności na znoszenie boczne w badaniach modelowych pojazdu, a także dokonania analizy zmian elementarnych właściwości ogumienia pod wpływem zmian wartości ciśnienia powietrza w kole.

4. Warunki badań

Badania eksperymentalne ogumienia wykonano w szerokim zakresie zmian wartości obciążenia normalnego i ciśnienia powietrza w kole. Wartości obciążenia normalnego ustalono jako: 33000 N, 22000 N oraz 11000 N. Wartości ciśnienia powietrza dobrano tak, aby określić właściwości opony w warunkach jazdy samochodu zarówno po drogach utwardzonych ($p_k = 500\text{kPa}$) jak i po drogach nieutwardzonych lub w warunkach terenowych. W tym przypadku obniżono ciśnienie powietrza w kole do wartości stanowiącej dwie trzecie i jedną trzecią wartości ciśnienia nominalnego ($p_k = 333\text{ kPa}$, $p_k = 166\text{ kPa}$). Jednocześnie badania wykonano w stanie zupełnego rozszczelnienia opony, w którym wkładka „run-flat” osiąga kontakt z podłożem.

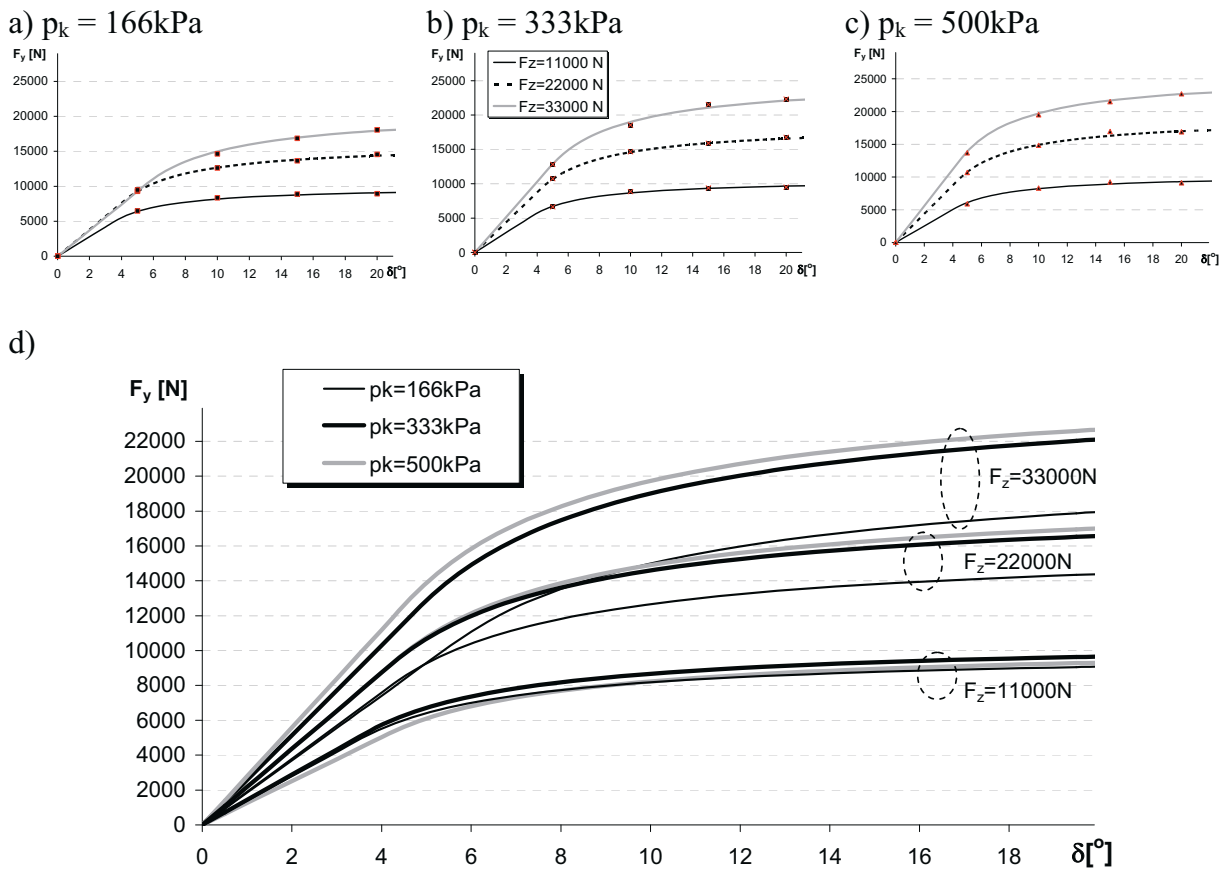
5. Analiza wyników badań

Ze względu na znaczne różnice właściwości, charakterystyki ogumienia z oponą rozszczelnioną, gdy wkładka „run_flat” bierze udział w przenoszeniu składowych obciążenia koła

oraz z oponą, w której wkładka „run_flat” nie wchodzi w kontakt z podłożem poświęcono oddzielne podrozdziały. Analizie poddano przebiegi charakterystyk i wartości współczynników charakteryzujących elementarne właściwości ogumienia, a także ewentualne specjalne zabiegi potrzebne w celu umożliwiania modelowania współpracy koła z podłożem przy wykorzystaniu typowego modelu współpracy koła z podłożem.

5. 1. Analiza wyników badań, uzyskanych w szerokim zakresie zmian wartości ciśnienia powietrza w kole

Charakterystyki odporności badanej opony na znoszenie boczne, wyznaczone w szerokim zakresie zmian wartości ciśnienia powietrza w kole i obciążenia normalnego koła przedstawiono na Rys. 2.



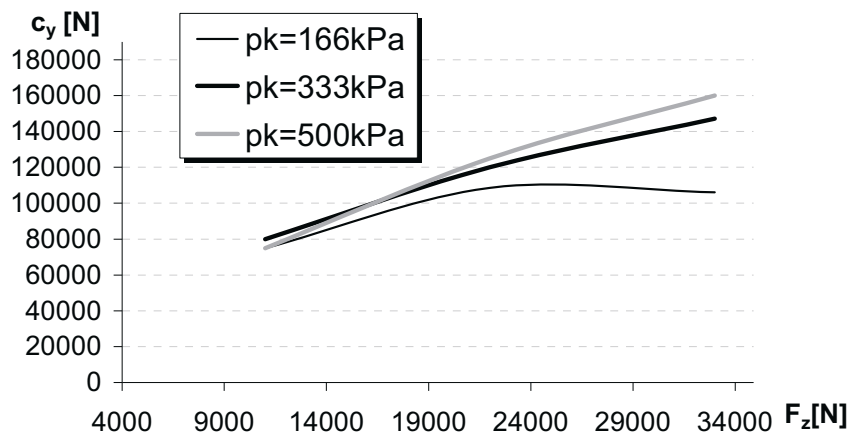
Rys. 2. Charakterystyki odporności ogumienia 14.00R20 na znoszenie boczne; a) $p_k = 166\text{kPa}$; b) $p_k = 333\text{kPa}$; c) $p_k = 500\text{kPa}$; d) zestawienie charakterystyk

Fig. 2. Cornering characteristics of 14.00R20 tire; a) $p_k = 166\text{kPa}$; b) $p_k = 333\text{kPa}$; c) $p_k = 500\text{kPa}$; d) a comparison of characteristics

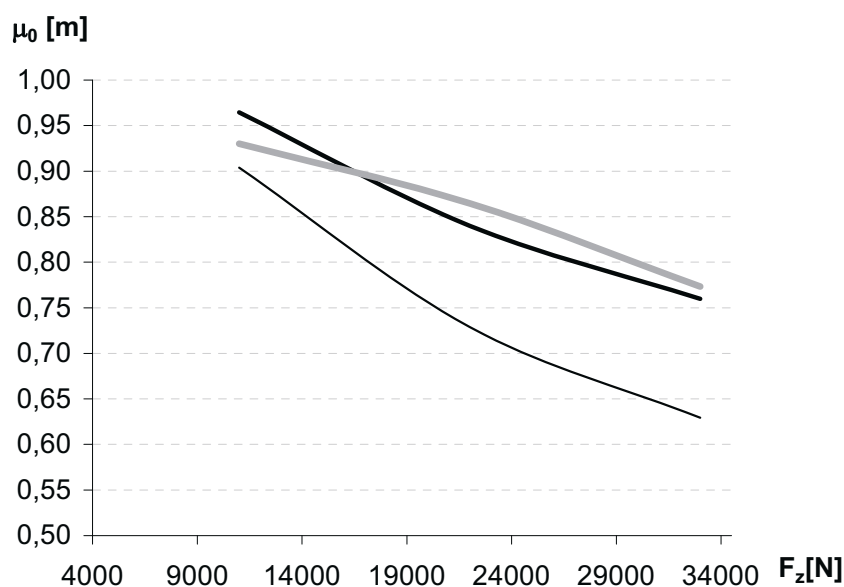
Charakterystyki wyznaczone jako przebieg funkcji modelu Dugoffa przedstawiono na tle wyników pomiaru wartości reakcji bocznej przy poszczególnych, ustalonych wartościach kąta znoszenia koła (Rys. 2 a, b, c). Widoczne jest tu dobre dopasowanie funkcji aproksymujących poszczególne serie pomiarów. Potwierdza się zatem przydatność modelu Dugoffa do modelowania współpracy koła ogumionego z podłożem w warunkach toczenia ze znoszeniem bocznym w szerokim zakresie zmian warunków ruchu koła. W tym przypadku konieczny jest jedynie właściwy dobór wartości współczynników modelu Dugoffa stosowanie do aktualnych wartości obciążenia normalnego i ciśnienia powietrza w kole. Charakterystyki zestawione na Rys. 2d oraz współczynniki modelu Dugoffa, przedstawione na Rys. 3, wskazują na istotne zmiany właściwości badanej opony w wyniku obniżania wartości ciśnienia powietrza w kole i jego obciążenia

normalnego. Obniżanie ciśnienia p_k powietrza w kole powoduje istotne zmniejszenie wartości przenoszonej reakcji bocznej F_y przez oponę szczególnie w zakresie wysokich wartości obciążenia normalnego koła F_z . Natomiast w zakresie niskich wartości obciążenia normalnego, nawet trzykrotny spadek ciśnienia powietrza w kole (w stosunku do maksymalnej wartości ciśnienia) nie powoduje istotnych zmian jego właściwości.

a)



b)



Rys. 3. Wpływ zmian obciążenia normalnego (F_z) i ciśnienia powietrza w kole (p_k) na wartości współczynników modelu Dugoffa wyznaczonych dla opony 14.00R20; a) zmiany współczynnika bocznej sztywności poślizgowej c_y ; b) zmiany współczynnika przyczepności elementarnego wycinka bieżnika μ_0 (F_z - obciążenie normalne koła, p_k - ciśnienie powietrza w kole)

Fig. 3. An influence of normal load (F_z) and inflation pressure (p_k) on Dugoff's model coefficients, determined for 14.00R20 tire; a) changes of cornering stiffness coefficient c_y ; b) changes of elementary grip coefficient μ_0

Takie zachowanie się opony można uzasadnić udziałem powłoki opony w przenoszeniu składowych obciążenia. Powłoka opony posiada własną, stosunkowo wysoką sztywność kierunkową. Przy zmniejszaniu ciśnienia powietrza jej udział w przenoszeniu składowych obciążenia koła, w kierunku promieniowym i bocznym rośnie wraz ze spadkiem ciśnienia powietrza, a spada wraz ze wzrostem obciążenia normalnego koła. Dlatego przy niskiej wartości ciśnienia powietrza w kole i obciążenia normalnego koła, właściwości opony są porównywalne. Wzrost udziału powłoki opony w przenoszeniu składowych obciążenia koła ma jednak niekorzystne skutki, widoczne na przedstawionych rysunkach. Przenoszenie obciążenia

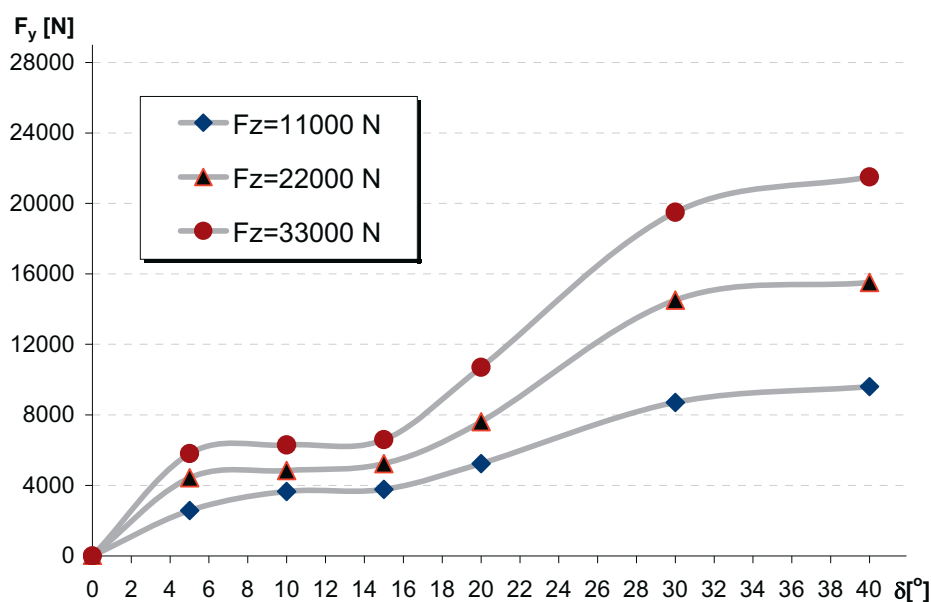
normalnego koła przez boki powłoki opony skutkuje ścisaniem czoła powłoki opony, które przylega do podłoża.

Ściskanie czoła opony wywołuje powstawanie silnych bocznych naprężeń stycznych, szczególnie w strefie barków, a także może powodować wyboczenie i oderwanie się środkowej części czoła powłoki opony od podłoża. Skutki wystąpienia takich zjawisk są następujące:

- oderwanie czoła powłoki opony od podłoża powoduje zmniejszenie współczynnika odporności na znoszenie boczne opony (w tym przypadku wyrażonego, jako współczynnik c_y , modelu Dugoffa), co prowadzi do zmniejszenia wartości przenoszonej reakcji bocznej w zakresie małych wartości kąta znoszenia,
- boczne obciążenia styczne, które działają na występy bieżnika w przeciwnych kierunkach na zewnątrz, powodują zmniejszenie współczynnika przyczepności opony do podłoża (w tym przypadku wyrażonego jako współczynnik μ_0 modelu Dugoffa), co prowadzi do zmniejszenia wartości przenoszonej reakcji bocznej w zakresie dużych wartości kąta znoszenia.

5.2. Analiza wyników badań koła rozszczelnionego, z udziałem wkładki „run-flat”

Udział wkładki „run-flat” istotnie zmienia właściwości ogumienia. Otrzymane w wyniku pomiarów charakterystyki odporności na znoszenie boczne są nietypowe (Rys. 4). W zakresie niskich wartości kąta znoszenia (do ok. 5°) wartość reakcji bocznej rośnie wraz ze wzrostem wartości kąta znoszenia. Natomiast w zakresie wartości kąta znoszenia w granicach od około 5° do 15° widoczne jest wyraźne ograniczenie wartości przenoszonej reakcji bocznej, mimo wzrostu wartości kąta znoszenia. Dalszy wzrost wartości reakcji bocznej F_y następuje, gdy kąt znoszenia przekracza około 16° i postępuje dalej, aż do osiągnięcia wartości granicznej, wynikającej z przyczepności opony do podłoża.



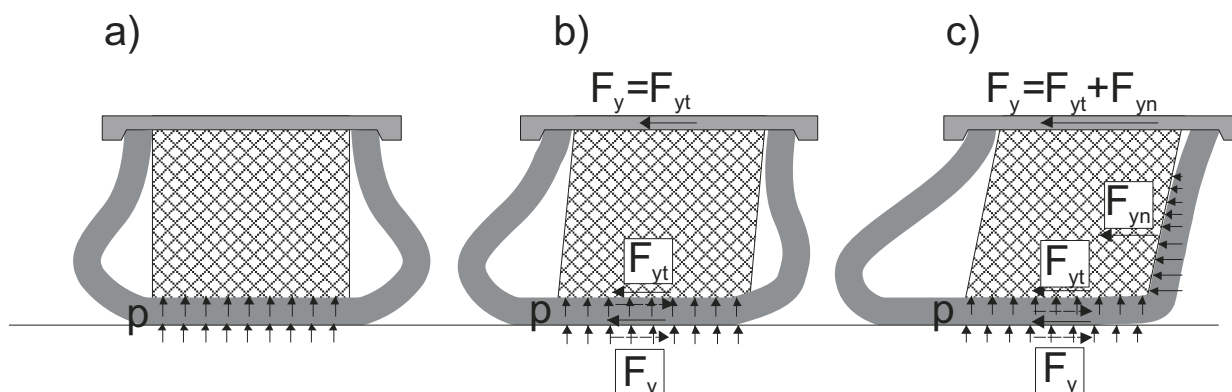
Rys. 4. Charakterystyki odporności ogumienia 14.00R20 na znoszenie boczne w stanie rozszczelnienia, z udziałem wkładki „run-flat”;

Fig. 4. Cornering characteristics of 14.00R20 tire with no air pressure and with “run-flat” insert participation

Przedstawione zachowanie ogumienia powtarza się w szerokim zakresie zmian wartości obciążenia normalnego koła, zatem nie jest przypadkowe. Pojawiają się więc następujące pytania:

- jakie są przyczyny takiego zachowania ogumienia z udziałem wkładki „run-flat”?
- w jaki sposób otrzymane przebiegi charakterystyk można aproksymować przy pomocy modelu Dugoffa, bez konieczności zmiany jego formuły?

W przypadku rozszczelnienia ogumienia powłoka opony pracuje w stanie dużego ugięcia promieniowego, a wkładka „run-flat” wchodzi w kontakt z podłożem za pośrednictwem czoła opony (Rys. 5).



Rys. 5. Współpraca rozszczelnionego ogumienia z wkładką „run-flat” z podłożem w różnych stanach ruchu koła; a) podczas toczenia koła na wprost; b) podczas toczenia koła ze znoszeniem bocznym, w zakresie małych wartości kąta znoszenia; c) podczas toczenia koła ze znoszeniem bocznym, w zakresie dużych wartości kąta znoszenia

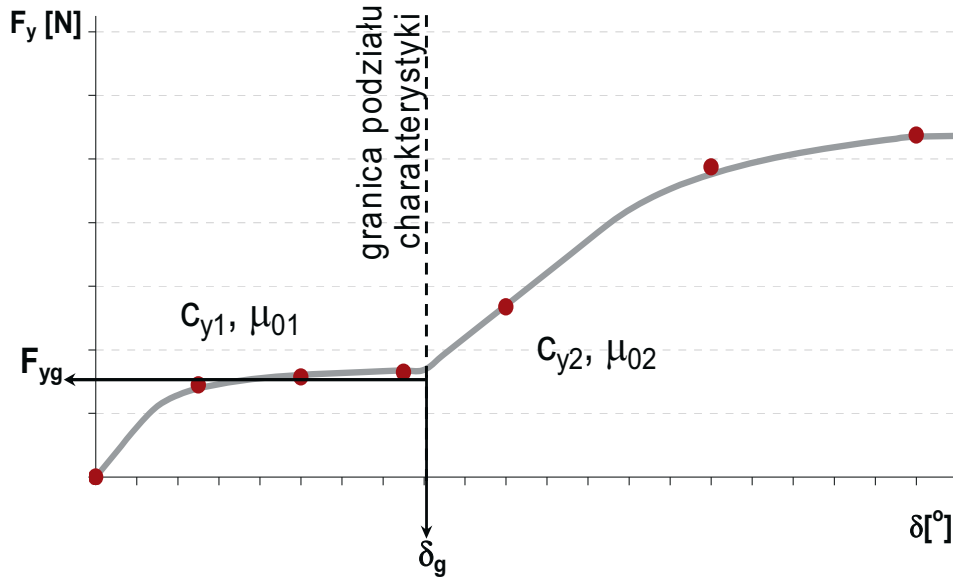
Fig. 5. A way of interaction of tire with no air pressure and “run-flat” insert with road surface in different motion states; a) during rolling with no cornering, b) during rolling with cornering in range of small cornering angle values; c) during rolling with cornering at range of large cornering angle values

Nacisk jednostkowy wywierany jest od podłoża na czoło opony i dalej na wkładkę „run-flat”. W efekcie reakcja normalna przenoszona jest od podłoża na obręcz koła częściowo poprzez ściśnięte i wyboczone boki opony oraz poprzez wkładkę (Rys. 5a). W przypadku, gdy koło toczy się ze znoszeniem bocznym w zakresie niedużych wartości kąta znoszenia, silnie wyboczone boki powłoki opony praktycznie nie przenoszą bocznych obciążeń stycznych, a reakcja boczna F_y przenoszona jest od podłoża na obręcz koła przede wszystkim za pośrednictwem wkładki „run-flat”, a więc równa się sile stycznej F_{yt} (Rys. 5b). W takim stanie ruchu, przy dobrej przyczepności bieżnika opony do podłoża, wartość siły F_{yt} może narastać ze wzrostem kąta znoszenia, ale jej wartość maksymalna zależy od wartości nacisku jednostkowego i współczynnika tarcia między wkładką a wewnętrzną powierzchnią powłoki opony. Zatem po wzroście kąta znoszenia do określonej wartości możliwe jest wejście wkładki „run-flat” w stan ślizgania się po wewnętrznej powierzchni powłoki opony, która przylega do podłoża. W takich warunkach wzrost wartości reakcji bocznej jest powstrzymany, mimo wzrostu kąta znoszenia. Wewnętrzny bok rozszczelnionej opony, w strefie przetaczania się koła po podłożu, jest silnie wyboczony. Dlatego podczas toczenia koła, mimo ślizgania się wkładki po powłoce opony, ma on dostateczny zapas czynnej długości, żeby mógł być wciągany pod koło, bez wybrania tego zapasu, zanim nie wyjdzie z sektora współpracy z podłożem. Taki stan ślizgania się wkładki „run-flat” po powłoce opony i ustalonej wartości przenoszonej reakcji bocznej $F_y = F_{yt}$ jest możliwy do chwili, gdy kąt znoszenia koła zostanie zwiększony do wartości granicznej δ_g , przy której zapas długości wewnętrznego boku powłoki opony zostanie całkowicie wybrany w strefie przetaczania koła. W tym przypadku napięty bok opony opiera się o wkładkę „run-flat” (Rys. 5c). W efekcie wartość reakcji bocznej F_y przenoszonej przez koło jest sumą siły tarcia F_{yt} pomiędzy wkładką „run-flat” a wewnętrzną powierzchnią powłoki opony oraz wypadkowej siły naporu F_{yn} napiętego boku opony na wkładkę. Zatem uzasadniony jest dalszy wzrost wartości reakcji bocznej, przenoszonej przez ogumienie na skutek zwiększania wartości kąta znoszenia.

Opisany mechanizm współpracy rozszczelnionego koła z wkładką „run-flat” z podłożem uzasadnia powstanie nietypowych przebiegów charakterystyk odporności ogumienia na znoszenie boczne. W ramach pracy podjęto również próbę aproksymacji wyników pomiarów przy pomocy modelu Dugoffa. W tym celu dokonano podziału charakterystyki na dwie części, które

aproksymowano przy pomocy modelu Dugoffa dobierając wartości współczynników modelu dla każdej z nich. Sposób podziału charakterystyk pokazano na Rys. 6. Granicę podziału stanowi graniczna wartość kąta znoszenia δ_g , przy której również występuje graniczna wartość przenoszonej reakcji bocznej F_{yg} . Dla obu części charakterystyki zastosowano te same zależności modelu Dugoffa [12], ale do obliczeń używano oddzielny zestaw wartości współczynników modelu oraz jego argumentu, i tak:

$$\begin{aligned} \text{dla } \delta \leq \delta_g & \text{ obliczano } F_y = F_y(\delta, c_{y1}, \mu_{01}), \\ \text{dla } \delta > \delta_g & \text{ obliczano } F_y = F_y(\delta - \delta_g, c_{y2}, \mu_{02}) + F_{yg}, \end{aligned} \quad (1)$$



Rys. 6. Przykład aproksymacji charakterystyki odporności na znoszenie boczne ogumienia z wkładką „run-flat” przy pomocy modelu Dugoffa;

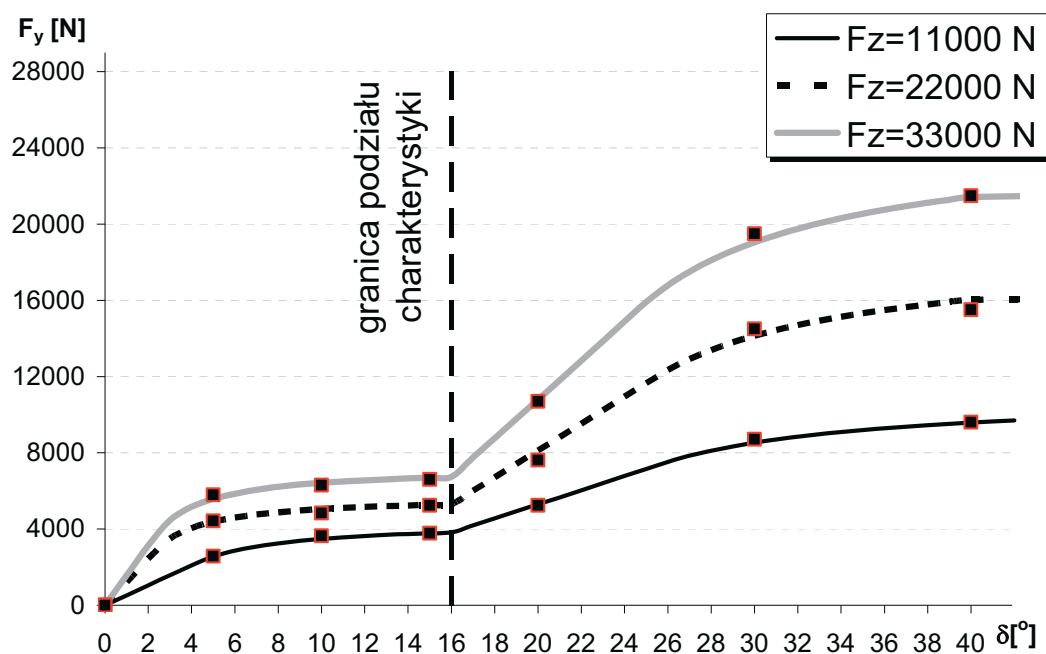
Fig. 6. An example of tire with “run-flat” insert cornering characteristics approximation using Dugoff’s model

Wyniki przeprowadzonej aproksymacji charakterystyk przedstawiono na Rys. 7, a wartości współczynników modelu Dugoffa oraz granicznych argumentów przedstawiono w Tab. 2. Jak widać na Rys. 6 uzyskano, dobre dopasowanie uwzględnieniem udziału wkładki ”run-flat” w przenoszeniu obciążenia normalnego. Wartość granicznego kąta znoszenia δ_g ustalono na 16° . Jednakowa wartość tego kąta, przyjęta dla wszystkich zadanych wartości obciążenia normalnego dała wystarczająco dobre rezultaty.

Tab. 2. Zestawienie współczynników modelu Dugoffa wyznaczonych dla rozszczelnionej opony 14.00R20 z wkładką ”run-flat”

Tab. 2. Dugoff’s model coefficients estimated for 14.00R20 tire with no air pressure and “run-flat” insert

	$\delta \leq \delta_g$			$\delta > \delta_g$			
F_z	C_{y1}	μ_{01}	δ_g	F_{yg}	C_{y2}	μ_{02}	k
[N]	[N]	[-]	[°]	[N]	[N]	[-]	[s/m]
11000	30000	0,40	16	4534	21000	0,65	0,012
22000	70000	0,26	16	9005	40000	0,60	0,012
33000	90000	0,22	16	11489	58000	0,54	0,012



Rys. 7. Przykład aproksymacji charakterystyki odporności na znoszenie boczne ogumienia z wkładką „run-flat” przy pomocy modelu Dugoffa - model (linie ciągłe) i wyniki pomiaru (punkty)

Fig. 7. An example of tire with “run-flat” insert cornering characteristics approximation using Dugoff’s model - model (continuous lines) and measurement results (dots)

6. Podsumowanie

Cel pracy został osiągnięty. Wyznaczone charakterystyki odporności na znoszenie boczne umożliwiły określenie właściwości ogumienia i przygotowanie danych do modelowania jego współpracy z podłożem w warunkach znoszenia bocznego. Wyjawiono niejednoznaczny wpływ zmian wartości ciśnienia powietrza w kole na właściwości ogumienia. Jednocześnie pokazano nietypowe przebiegi charakterystyk ogumienia z oponą rozszczelnioną, gdy wkładka „run-flat” bierze udział w przenoszeniu składowych obciążenia koła. Wyniki badań pokazały, że mimo istnienia wkładki typu „run-flat” w kole, istnieją poważne ograniczenia możliwości przenoszenia reakcji bocznej przez koło w stanie rozszczelnienia opony. Ograniczeniem tym jest przede wszystkim ograniczona siła tarcia pomiędzy czołem wkładki a wewnętrzną powierzchnią powłoki opony. Stwierdzone ślizganie się wkładki „run-flat” po wewnętrznej powierzchni powłoki opony powoduje, że w zakresie wartości kąta znoszenia do 16° wartości reakcji bocznej, przenoszonej przez ogumienie nie przekraczają 40% wartości reakcji normalnej. Z punktu widzenia dynamiki poprzecznej pojazdu takie właściwości ogumienia są niekorzystne, ponieważ znacznie ograniczają możliwości kierowania pojazdem oraz jego stateczność ruchu. W efekcie można stwierdzić, że wprowadzenie wkładki „run-flat” umożliwia kontynuowanie jazdy, ale przy znacznie ograniczonej prędkości, zapewniającej panowanie kierowcy nad pojazdem. Jednocześnie, na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że możliwa jest poprawa właściwości ogumienia, poprzez zwiększenie wartości współczynnika tarcia pomiędzy czołem wkładki „run-flat” a wewnętrzną powierzchnią powłoki opony.

Literatura

- [1] Andrzejewski, R., *Stabilność ruchu pojazdów kołowych*, WNT Warszawa 1997.
- [2] Litwinow, A., *Kierowalność i stateczność ruchu samochodu*, WKŁ 1975.
- [3] Gidlewski, M., Olejarczyk, K., *Badanie wpływu charakterystyk dynamicznych kół ogumionych na własności samochodu ciężarowego podczas jazdy po okręgu w warunkach ustalonych*, VI Międzynarodowe sympozjum IPM, Warszawa-Rynia 1996.

- [4] Szurkowski, Z., *Badanie wpływu własności sprężystych ogumienia na stabilizację kół kierowanych samochodu*, Rozprawa doktorska, WAT 1972r.
- [5] Xia, X, Willis, J. N., *The effects of tire cornering stiffness on vehicle linear handling performance*, SAE Paper 950313.
- [6] Luty, W., *O możliwości kształtowania kierunkowych właściwości sprężystych opon radialnych*, Zeszyty Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 2 (24)/97.
- [7] Luty, W., *Wpływ warstw kordu na odporność ogumienia na znoszenie boczne*, VII Międzynarodowe Sympozjum IPM, Warszawa-Rynia, 8-10.12.1999.
- [8] Lozia, Z., *Ocena roli stanów nieustalonych ogumienia w badaniach dynamiki poprzecznej samochodu*, VII Międzynarodowe Sympozjum Instytutu Pojazdów Mechanicznych, WAT Warszawa, 1999r.
- [9] Luty, W., *Analiza właściwości ogumienia samochodu ciężarowego w nieustalonym stanie znoszenia bocznego*, Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej 3(38/00).
- [10] Luty, W., *Analiza wpływu nabiegania ogumienia na wybrane wyniki symulacji ruchu samochodu w teście dynamicznego skrętu kół kierowanych*, Prace Naukowe, Transport, Politechnika Warszawska Z. 63, 2007r.
- [11] Luty, W., Prochowski, L., Szurkowski, Z., *Stanowisko do badań ogumienia dużego rozmiaru*, VII Międzynarodowe Sympozjum IPM, Warszawa-Rynia, 8-10.12.1999.
- [12] Dugoff, H, Fancher, P. S., Segel, L., *An analysis of tire traction properties and their influence on vehicle dynamic performance*, SAE Transactions 700377, Vol. 79.