

AN ANALYSIS OF RUN-FLAT TIRE RADIAL FLEXIBILITY

Witold Luty

*Warsaw University of Technology, Faculty of Transport
Koszykowa. 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 st. 1, 05-070 Sulejówek, Poland
tel.: +48 22 6811204, fax: +48 22 6811073
e-mail: psim@witpis.mil.pl*

Abstract

Research results of armored car tire (255/100R16), equipped with run-flat insert, in aspect of radial flexibility, are presented in this paper. The tire characteristics of radial flexibility, prepared basing on laboratory research results are shown. These characteristics were determined in wide range of air inflation pressure changes, also with no air pressure inside the tire. There is shown a participation of run-flat insert in all the tire normal load transmitting from road surface to wheel axis. Basing on tire characteristics of radial flexibility, coefficients of polynomial, approximating these characteristics were calculated. Results of research and calculations allow to use them directly in model of tire-road interaction in radial direction.

The armored car tire with "run-flat" insert, the comparison of 255/100R16 tire flexibility characteristics, determined in wide range of inflation pressure changes, the examples of polynomial approximation of tire flexibility characteristics for three different flexibility characteristics are presented in the paper.

Keywords: transport, vehicle, pneumatic tire, "run-flat" insert, radial flexibility

ANALIZA SPRĘŻYSTOŚCI PROMIENIOWEJ OGUMIENIA Z WKŁADKĄ „RUN-FLAT”

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań opony o rozmiarze 255/100R16, wyposażonej we wkładkę typu "run-flat", w aspekcie sprężystości promieniowej. Przedstawiono charakterystyki sprężystości promieniowej opony. Charakterystyki wyznaczono w szerokim zakresie zmian ciśnienia powietrza w kole, od ciśnienia zalecanego podczas jazdy na drogach utwardzonych do ciśnienia o obniżonych wartościach, zalecanego podczas jazdy w warunkach terenowych. Pomiarów wykonano również przy braku powietrza w kole, co odpowiada sytuacji przestrzelenia opony, a jednocześnie umożliwia udział wkładki "run-flat" w przenoszeniu obciążenia normalnego przez koło. Na podstawie wyznaczonych charakterystyk sprężystości promieniowej opony wyznaczono współczynniki wielomianów umożliwiających odwzorowanie charakterystyk sprężystości promieniowej przy różnych wartościach ciśnienia powietrza w kole włącznie z udziałem wkładki "run-flat".

W artykule w szczególności zaprezentowano oponę samochodu opancerzonego z wkładką typu "run-flat", charakterystyki sprężystości promieniowej opony 255/100R16 wyznaczonych w szerokim zakresie zmian wartości ciśnienia powietrza w kole, aproksymacje charakterystyk sprężystości promieniowej opony w odniesieniu do trzech różnych wartości ciśnienia.

Słowa kluczowe: transport, pojazd opona pneumatyczna, wkładka "run-flat", sprężystość promieniowa

1. Wstęp

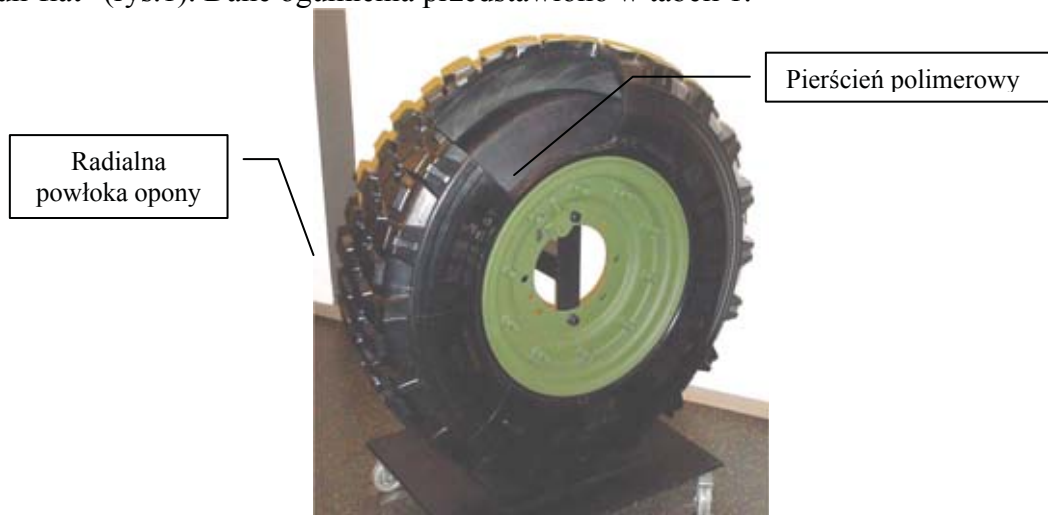
Właściwości sprężyste w kierunku promieniowym są jedną z wielu cech ogumienia kół jezdnych, które wpływają na właściwości użytkowe pojazdu. Wiadomo, że sztywność opony może wpływać zarówno na obciążenia dynamiczne elementów układu jezdnego jak i na komfort jazdy [[1],[2],[3]]. Jednocześnie wiadomo, że powłoka opony jako wielowarstwowa konstrukcja kordowo-gumowa generuje straty mechaniczne podczas toczenia koła, a straty te jako zasadniczy składnik oporu toczenia koła rosną wraz z ugięciem opon [[4],[5]].

W przypadku pojazdów przeznaczonych do innych zadań niż typowe zadania transportowe często stosowane są koła jezdne o specjalnych właściwościach. Jedną z nich jest możliwość jazdy przy znacznie obniżonych wartościach ciśnienia powietrza w kole (np. w ciężkich warunkach terenowych) lub długotrwałej jazdy bez powietrza w kole na skutek przebicia lub przestrzelenia powłoki opony. Takie koła zostały zastosowane w samochodzie opancerzonym. Przygotowując dane do modelowania dynamiki tego samochodu dokonano oceny właściwości sprężystych jego ogumienia w kierunku promieniowym, włącznie z udziałem wkładki „run-flat”.

Celem pracy było wyznaczenie charakterystyk sprężystości promieniowej ogumienia oraz przygotowanie danych do modelowania współpracy koła z podłożem. Charakterystyki sprężystości wyznaczono w szerokim zakresie zmian ciśnienia powietrza w kole, od ciśnienia zalecanego podczas jazdy na drogach utwardzonych do ciśnienia o obniżonych wartościach, zalecanego podczas jazdy w warunkach terenowych. Pomiary wykonano również przy braku powietrza w kole, co odwzorowuje stan przestrzelenia opony, a jednocześnie umożliwia udział wkładki „run-flat” w przenoszeniu obciążenia normalnego przez koło.

2. Obiekt i warunki badań

Obiektem badań było koło ogumione samochodu opancerzonego wyposażone we wkładkę typu „run-flat” (rys.1). Dane ogumienia przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Widok opony samochodu opancerzonego z wkładką typu „run-flat”

Fig. 1. A view of armored car tire with “run-flat” insert

Tab. 1. Podstawowe dane obiektu badań

Tab. 1. Basic data of research object

Rozmiar opony	Warstwy kordu powłoki opony	Ciśnienie nominalne [kPa]	Obciążenie nominalne [kg]
255/100R16	osnowa: 1 stal opasanie: 3 stal	450	1700

3. Metoda badań

Badania wykonano w dwóch etapach:

- etap I- wyznaczenie charakterystyk sprężystości promieniowej opony,
- etap II- przygotowanie danych do modelowania.

Charakterystyki sprężystości promieniowej opony wyznaczono w warunkach laboratoryjnych. Wyznaczone charakterystyki sprężystości umożliwiły przygotowanie danych do modelowania współpracy ogumienia z podłożem.

Dane do modelowania współpracy koła z podłożem w kierunku promieniowym wyznaczono w postaci współczynników wielomianu, którym aproksymowano przebiegi uzyskanych charakterystyk sprężystości. Wyznaczone wartości współczynników można zastosować w badaniach symulacyjnych odtwarzając wartość reakcji normalnej, działającej na koło od podłoża jako funkcję ugięcia opony w kierunku promieniowym. W przypadku niskich wartości ciśnienia powietrza w kole, oprócz współczynników wielomianu opisującego charakterystykę sprężystości promieniowej opony, wyznaczono również wartość ugięcia przy, przy którym wkładka „run-flat osiąga kontakt z podłożem.

4. Warunki badań

Badania eksperymentalne ogumienia wykonano w szerokim zakresie zmian ciśnienia powietrza w kole. Wartości ciśnienia powietrza dobrano tak aby określić właściwości opony w warunkach jazdy samochodu zarówno po drogach utwardzonych ($p_k=450\text{kPa}$) jak i po drogach nieutwardzonych lub w warunkach terenowych ($p_k=300\text{kPa}$, $p_k=150\text{kPa}$). Badania rozszerzono również o niskie wartości ciśnienia powietrza w kole (włącznie z zupełnym rozszczelnieniem opony), przy których wkładka osiąga kontakt z podłożem. W efekcie badania wykonano przy następujących wartościach ciśnienia powietrza w kole:

- $p_k = 0\text{ kPa}$ (z odkręconym wentylem),
- $p_k = 25\text{ kPa}$, 50 kPa , 75 kPa (z uwzględnieniem współpracy z wkładką „run-flat”),
- $p_k = 150\text{ kPa}$, 300 kPa , 450 kPa (przy braku kontaktu wkładki „run-flat” z podłożem).

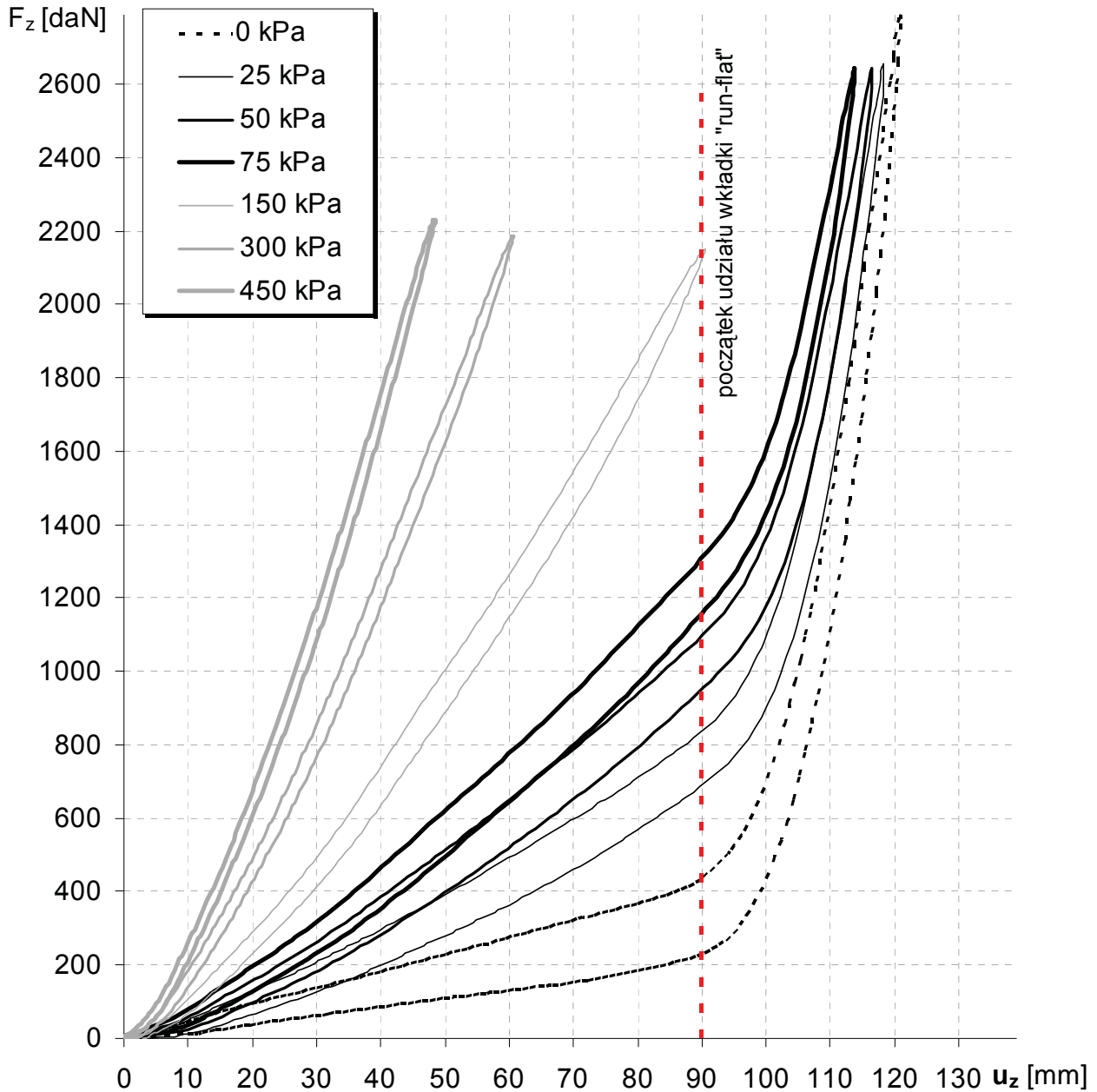
Przy każdej zadanej wartości ciśnienia powietrza w kole, maksymalna wartość zadanego obciążenia normalnego przekraczała 2200 daN. W efekcie dane do modelowania współpracy opony z podłożem przedstawiono w zakresie znacznie przekraczającym wartość obciążenia nominalnego opony.

5. Wyniki badań

Charakterystyki sprężystości opony, wyznaczone w szerokim zakresie zmian wartości ciśnienia powietrza w kole przedstawiono na rysunku 2. W części z pokazanych charakterystyk, uzyskanych dla wartości ciśnienia 75 kPa i niższych widoczny jest wpływ działania wkładki „run-flat”. Na podstawie przebiegów charakterystyk przyjęto, że udział wkładki „run-flat” w przenoszeniu obciążenia normalnego ma początek przy ugięciu opony równym ok. 90mm. Osiągając wartość maksymalnego obciążenia normalnego opona nie osiąga takiego ugięcia dla wartości ciśnienia powietrza 150 kPa i większych. Natomiast dla niskich wartości ciśnienia powietrza w kole np. 75 kPa i niższych dochodzi do udziału wkładki „run-flat” w przenoszeniu części obciążenia normalnego przez koło.

Wejście wkładki „run-flat” w kontakt z podłożem powoduje wyraźne usztywnienie opony, które zaczyna się od ugięcia promieniowego $u_z \approx 90\text{mm}$. Warto jednak zauważyć, że nawet w przypadku braku ciśnienia powietrza w kole sama powłoka opony wykazuje dość dużą sztywność. W zakresie maksymalnej wartości obciążenia normalnego koła powłoka przenosi do 20% całkowitego obciążenia normalnego koła.

Warto zwrócić uwagę, że wraz ze spadkiem wartości ciśnienia powietrza kole wyraźnie zwiększa się pole histerezy charakterystyki sprężystości. Świadczy to o rosnących stratach energii w powłoce opony podczas jej odkształcania w kierunku promieniowym. Energia ta jest rozpraszana również podczas toczenia koła, a zatem rosnące pole pętli charakterystyki świadczy o wzroście oporów toczenia opony [[4]].



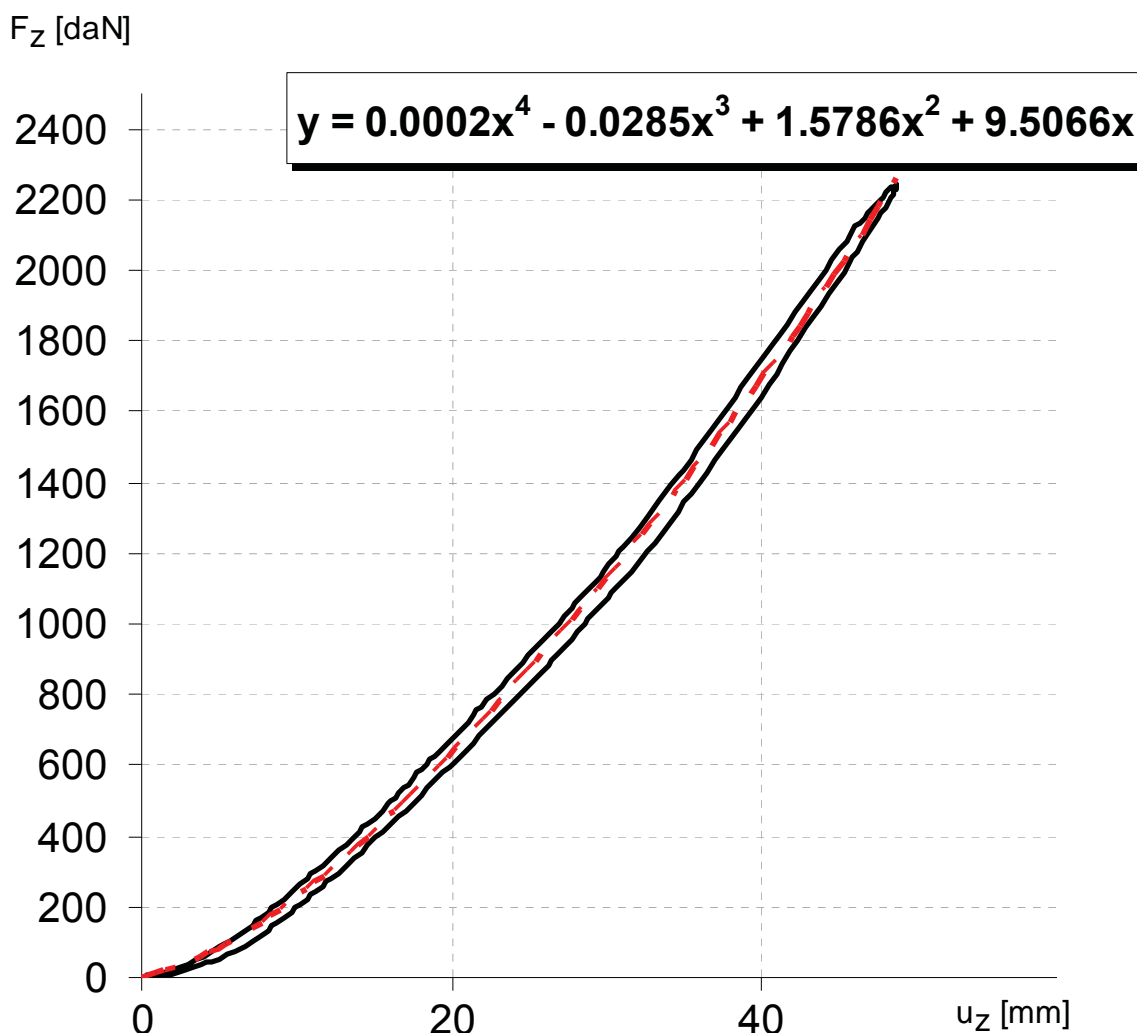
Rys. 2. Zestawienie charakterystyk sprężystości promieniowej opony 255/100R16 wyznaczonych w szerokim zakresie zmian wartości ciśnienia powietrza w kole

Fig. 2. A comparison of 255/100R16 tire flexibility characteristics, determined in wide range of inflation pressure changes

Wartość oporu toczenia można oszacować na podstawie charakterystyki sprężystości i jej pętli. Ten wątek będzie przedmiotem innej publikacji.

Charakterystyki sprężystości promieniowej opony poddano aproksymacji. Wyznaczono linie środkowe ich przebiegu. Ze względu na zadowalające rezultaty oraz łatwość zastosowania

wyników w modelu współpracy koła z podłożem aproksymacji dokonano przy pomocy wielomianów. Przykład aproksymacji charakterystyki sprężystości promieniowej przy wysokim ciśnieniu pokazano na rysunku 3.

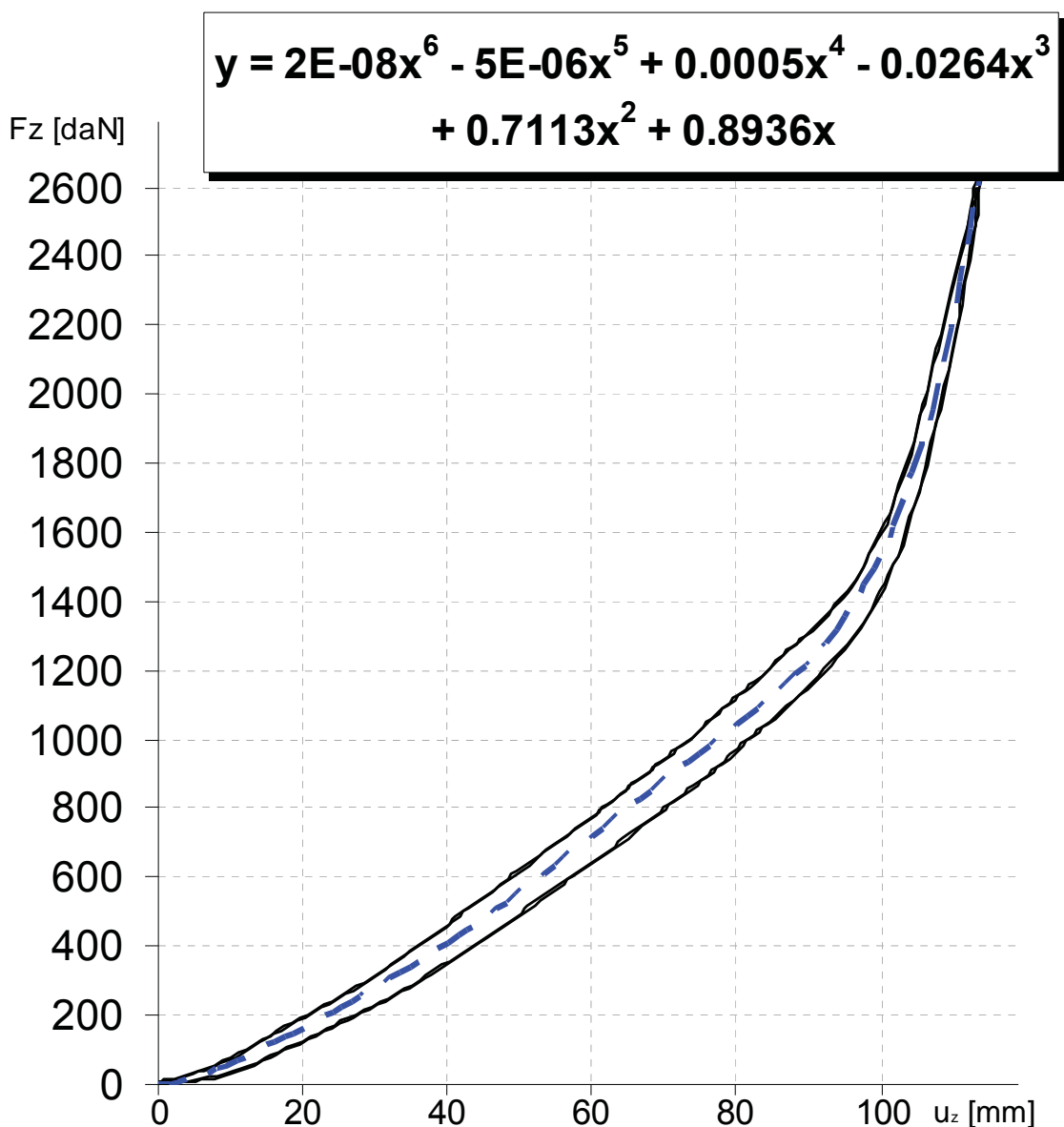


Rys. 3. Przykład aproksymacji charakterystyki sprężystości promieniowej opony przy pomocy wielomianu ($p_k=450\text{kPa}$)

Fig. 3. An example of polynomial approximation of tire flexibility characteristics, ($p_k=450\text{kPa}$)

W zakresie wyższych wartości ciśnienia powietrza w kole, przy których wkładka „run-flat” nie bierze udziału w przenoszeniu obciążenia normalnego koła, zadowalające rezultaty aproksymacji daje wielomian 4-go stopnia. W tym przypadku dotyczy to wartości ciśnienia powietrza w kole $p_k=450\text{kPa}$, $p_k=300\text{kPa}$ oraz $p_k=150\text{kPa}$. W przypadku znacznie niższych wartości ciśnienia powietrza w kole (75kPa, 50kPa i 25kPa), przy których wkładka „run-flat” osiąga kontakt z podłożem, znaczna nieliniowość charakterystyk wymagała zastosowania wielomianów wyższego, 6-go stopnia. Przykład aproksymacji jednej z tych charakterystyk pokazano na rysunku 4. Mimo znacznej nieliniowości przebiegu charakterystyk wielomian 6-stopnia również w sposób zadowalający odwzorowuje jej przebieg włącznie z udziałem wkładki „run flat”.

W przypadku braku ciśnienia powietrza wkładka „run-flat” wprowadza największe zakrzywienie charakterystyki sprężystości. Udział wkładki w przenoszeniu obciążenia normalnego powoduje kilkukrotne zwiększenie wartości sztywności opony.



Rys. 4. Przykład aproksymacji charakterystyki sprężystości promieniowej opony ($p_k=75$ kPa)
 Fig. 4. An example of polynomial approximation of tire flexibility characteristics, ($p_k=75$ kPa)

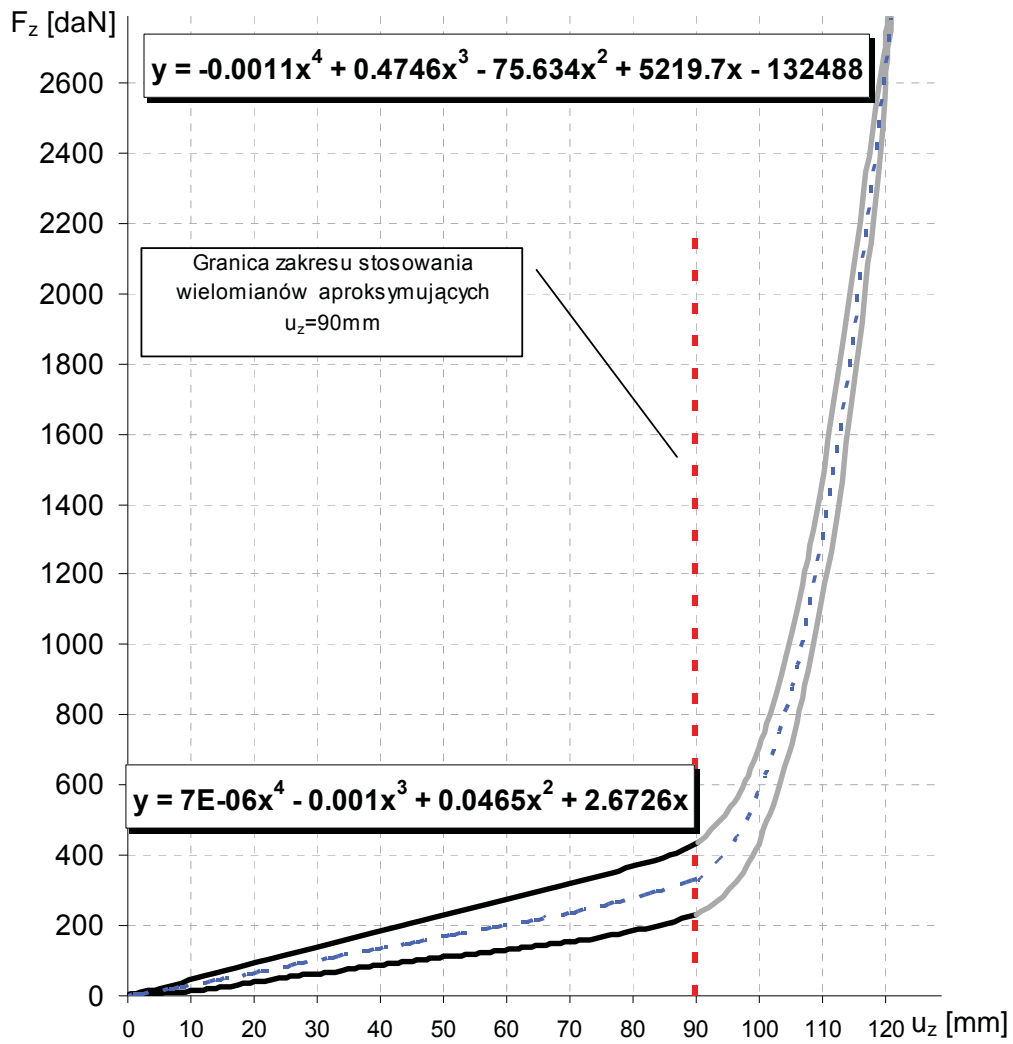
Do tej nieliniowości nawet wielomian 6-go stopnia nie jest w stanie dopasować się w sposób zadowalający. Z tego powodu konieczne było zastosowanie aproksymacji przy pomocy dwóch wielomianów 4-stopnia opisujących charakterystykę sprężystości promieniowej w częściach:

- w zakresie wartości ugięcia od $u_z=0$ mm do $u_z=90$ mm,
- w zakresie wartości ugięcia od $u_z=90$ mm do $u_z=115$ mm.

Rezultaty takiej aproksymacji przedstawiono na rysunku 5.

Zastosowanie dwóch wielomianów dało dobre dopasowanie ich przebiegów do charakterystyki przy jednocześnie zadowalającym ich „sklejeniu” w punkcie granicznego ugięcia opony $u_z=90$ mm.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń, jako wartości wyrazów wielomianów wraz z zakresem wartości ugięcia promieniowego u_z , w jakim można je stosować, zestawiono w tabeli 2.



Rys. 5. Przykład aproksymacji charakterystyki sprężystości promieniowej opony ($p_k=0$ kPa)
 Fig. 5. An example of polynomial approximation of tire flexibility characteristics ($p_k=0$ kPa)

Tab. 2. Zestawienie wartości współczynników wielomianów opisujących przebiegi charakterystyk sprężystości promieniowej opony

Tab 2. A specification of polynomial coefficients, approximating characteristics of tire radial flexibility

p_k (kPa)	Zakres zastosowania wielomianu	Wartość współczynnika wielomianu przy wyrazie w potęgze						
		6	5	4	3	2	1	0
450	0 mm < u_z ≤ 50 mm	-	-	0.0002	-0.0285	1.5786	9.5066	-
300	0 mm < u_z ≤ 60 mm	-	-	0.0001	-0.0191	1.2108	4.1218	-
150	0 mm < u_z ≤ 90 mm	-	-	0.0000	-0.0043	0.4240	6.1975	-
75	0 mm < u_z ≤ 115 mm	0.00000002	-0.000005	0.0005	-0.0264	0.7113	0.8936	-
50	0 mm < u_z ≤ 115 mm	0.00000002	-0.000004	0.0004	-0.0207	0.5662	0.5241	-
25	0 mm < u_z ≤ 115 mm	0.00000001	-0.000002	0.0002	-0.0057	0.1259	3.7605	-
0	0 mm < u_z ≤ 90 mm	-	-	0.0000	-0.0010	0.0465	2.6726	-
	90 mm < u_z ≤ 115 mm	-	-	-0.001100	0.4746	-75.63	5219.7	-132488

6. Podsumowanie

Na podstawie wyznaczonych w badaniach eksperymentalnych charakterystyk sprężystości promieniowej opony samochodu opancerzonego, dokonano oceny jej właściwości sprężystych w kierunku promieniowym, uwzględniając udział wkładki „run-flat” w przenoszeniu obciążenia normalnego koła. Współczynniki wielomianów aproksymujących charakterystyki sprężystości umożliwiają zastosowanie wyników badań bezpośrednio w modelu współpracy koła z podłożem w kierunku promieniowym. Należy jednak zwrócić uwagę, że opis współpracy koła z podłożem przy pomocy wielomianu jest opisem abstrakcyjnym i w żaden sposób nie jest związany z modelem fizycznym tej współpracy. Z tego powodu, biorąc pod uwagę stosunkowo wysoki stopień wielomianów zastosowanych do aproksymacji charakterystyk sprężystości promieniowej, można je stosować tylko w zakresie wartości ugięcia, w którym dokonano aproksymacji. Używanie wielomianów poza zakresem aproksymacji wiąże się z ryzykiem zasadniczej, nierealnej zmiany przebiegu charakterystyki.

Literatura

- [1] Kasprzyk, T., Prochowski, L., Szurkowski, Z., *Optymalizacja własności sprężystych i dobór konstrukcji ogumienia samochodu osobowego dla różnych warunków eksploatacji*, Auto-Technika Motoryzacyjna 10/74 i 11/74.
- [2] Mitschke, Manfred, *Dynamika samochodu*, Tom 2 Drgania, str. 115. WKŁ Warszawa 1987.
- [3] Jackowski, J., Prochowski, L., *Analiza wpływu konstrukcji ogumienia na obciążenia dynamiczne pojazdu i nawierzchni drogi*, Biuletyn WAT nr 10/89.
- [4] Fielding-Russell, G.S., Pillai, P.S., *Tire rolling resistance from whole-tire hysteresis ratio*, Rubber chemistry and technology, V65 n 2 May-Jun 1992 p. 444-452.
- [5] Jackowski, J., Luty, W., Wieczorek, M., *Oszacowanie oporu toczenia ogumienia 12R22.5*, Biuletyn WAT Vol. L, Nr 9 (2001).