CZASOPISMO TECHNICZNE M
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z. 6-M/2008
ISSN 0011-4561
ISSN 1897-6328

WITOLD LUTY*, PRZEMYSŁAW SIMIŃSKI**

ANALIZA SPRĘŻYSTOŚCI PROMIENIOWEJ OGUMIENIA 14.00R20 Z WKŁADKĄ TYPU *RUN-FLAT*

THE ANALYSIS OF THE RADIAL ELASTICITY OF THE TYRE 14.00R20 WITH A RUN-FLAT PAD

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań opony o rozmiarze 14.00R20, wyposażonej we wkładkę typu *run-flat*, w aspekcie sprężystości promieniowej. Przedstawiono charakterystyki sprężystości promieniowej opony oraz wyrażenia wielomianów aproksymujących ich przebiegi. Sformułowano spostrzeżenia dotyczące wpływu zmian ciśnienia powietrza na promieniowe właściwości sprężyste opony. Pokazano również wpływ wkładki *run-flat* na sposób współpracy koła z podłożem.

Słowa kluczowe: *opona pneumatyczna*, *wkładka run-flat*, *sprężystość promieniowa*

Abstract

Research results of armored 14.00R20 tire, equipped with run-flat insert, in aspect of radial elasticity, are presented in this paper. The tire characteristics of radial springiness and polynomial expressions approximating them were shown. Some observations concerning an influence of air inflation pressure on tire and run-flat insert properties were formulated. There is shown a participation of run-flat insert in radial load transmitting from road surface to wheel axis.

Keywords: *pneumatic tire*, *run-flat insert*, *radial stiffness*

*Dr inż. Witold Luty, Zakład Eksploatacji Urządzeń Transportowych, Wydział Transportu, Politechnika Warszawska.
**Dr inż. Przemysław Simiński, Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej, Warszawa.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Sztywność promieniowa to jedna z wielu cech ogumienia kół jezdnych, która wpływa na właściwości użytkowe pojazdu. Wiadomo, że sztywność promieniowa opony może wpływać zarówno na poziom obciążeń dynamicznych elementów układu jezdnego pojazdu, jak i na komfort jazdy [1–3]. Wiadomo też, że powłoka opony jako wielowarstwowa konstrukcja kordowo-gumowa powoduje powstawanie strat energii podczas toczenia koła, a histereza powłoki opony jest ważnym składnikiem oporu toczenia koła [4–6].

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 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 elementów zwiększających poziom bezpieczeństwa pojazdu.

Przygotowując dane do modelowania dynamiki transportera opancerzonego, dokonano oceny właściwości jego ogumienia. Celem artykułu było określenie właściwości koła wyposażonego w oponę przystosowaną do pracy w warunkach znacznych zmian wartości ciśnienia powietrza w kole oraz we wkładkę typu *run-flat*. W tym przypadku analizie poddano właściwości sprężyste koła w kierunku promieniowym. Podstawą do analizy właściwości były charakterystyki sprężystości promieniowej koła. Charakterystyki ogumienia 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 na skutek przebicia, przestrzelenia czy rozerwania powłoki opony. W takim przypadku możliwy jest udział wkładki *run-flat* w przenoszeniu obciążenia normalnego przez koło. Mimo że prowadzona analiza dotyczy koła transportera opancerzonego, to wnioski z analizy mogą znaleźć zastosowanie również w stosunku do kół pojazdów innego przeznaczenia, wyposażonych w tego typu wkładki.

2. Obiekt i warunki badań

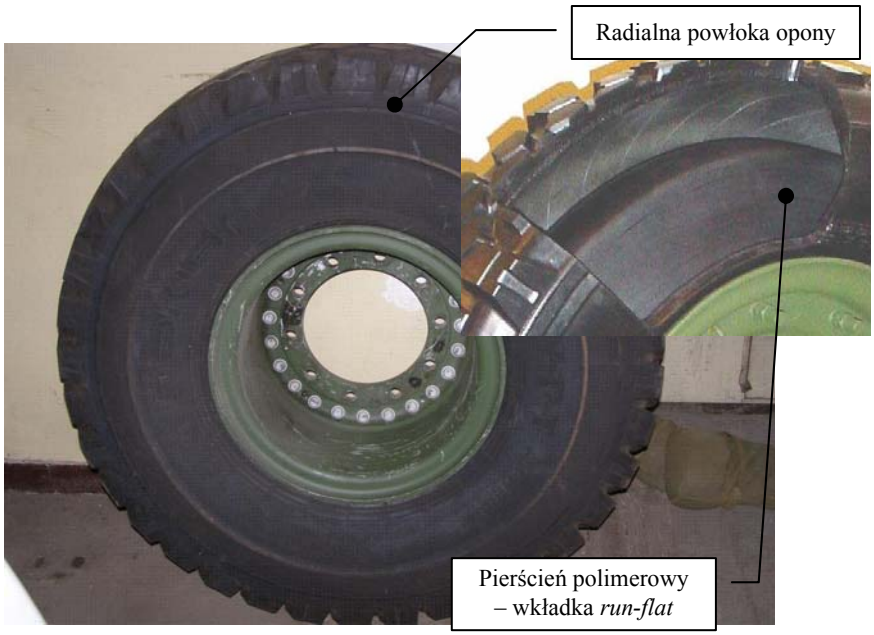
Obiektem badań było koło ogumione transportera opancerzonego wyposażone we wkładkę typu *run-flat* (rys. 1). Dane ogumienia przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Podstawowe dane obiektu badań

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

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



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

Wkładkę typu *run-flat* stanowi pierścień polimerowy osadzony na obręczy wewnątrz opony. Pierścień charakteryzuje się wysoką wytrzymałością. 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, gdy powłoka opony zostanie rozerwana.

3. Metoda badań

Badania wykonano w dwóch etapach:

- etap I – badania eksperymentalne opony, wyznaczenie charakterystyk sprężystości promieniowej koła,
- etap II – przygotowanie danych do modelowania współpracy ogumienia z podłożem w zakresie sprężystości promieniowej i analiza jego właściwości.

Charakterystyki sprężystości promieniowej opony wyznaczono w warunkach laboratoryjnych na stanowisku do badań ogumienia dużego rozmiaru [6]. Wyznaczone podczas badań charakterystyki ogumienia stanowiły podstawę do analizy zmian właściwości opony na skutek obniżania wartości ciśnienia powietrza w kole oraz na skutek udziału wkładki *run-flat* w przenoszeniu obciążenia normalnego przez koło. Wyznaczone charakterystyki stanowią również podstawę do wyznaczenia wartości współczynników funkcji aproksymujących ich przebieg. W tym przypadku do opisu charakterystyk sprężystości promie-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

niowej zastosowano metodę aproksymacji za pomocą wielomianu. Współczynniki wielomianu dają możliwość odtworzenia charakterystyk sprężystości promieniowej w badaniach modelowych pojazdu.

4. Warunki badań

Badania eksperymentalne ogumienia wykonano w szerokim zakresie zmian wartości ciśnienia powietrza w kole. Wartości ciśnienia powietrza dobrano tak, aby określić właściwości opony w warunkach jazdy samochodu zarówno po drogach utwardzonych (p_k = 500 kPa), jak i po drogach nieutwardzonych lub w warunkach terenowych. W tym przypadku obniżono ciśnienie powietrza w kole do wartości stanowiących 2/3 i 1/3 wartości ciśnienia nominalnego (p_k = 333 kPa, p_k = 166 kPa). Badania wykonano też po uzyskaniu stanu zupełnego rozszczelnienia opony, w którym wkładka *run-flat* ma kontakt z podłożem.

5. Wyniki badań

Wyniki badań eksperymentalnych przedstawiono na rysunkach w postaci charakterystyk sprężystości promieniowej uzyskanych przy kolejno zmniejszających się wartościach ciśnienia powietrza w kole (rys. 2–5). Na rysunkach pokazano również linie oraz wyrazy wielomianów aproksymujących przebiegi poszczególnych charakterystyk.

Jak widać, w szerokim zakresie zmian wartości ciśnienia powietrza i obciążenia normalnego koła, gdy wkładka *run-flat* nie bierze udziału w przenoszeniu obciążenia normalnego koła, charakterystykę sprężystości promieniowej opony można opisać, w zadowalający sposób, za pomocą wielomianu czwartego stopnia.

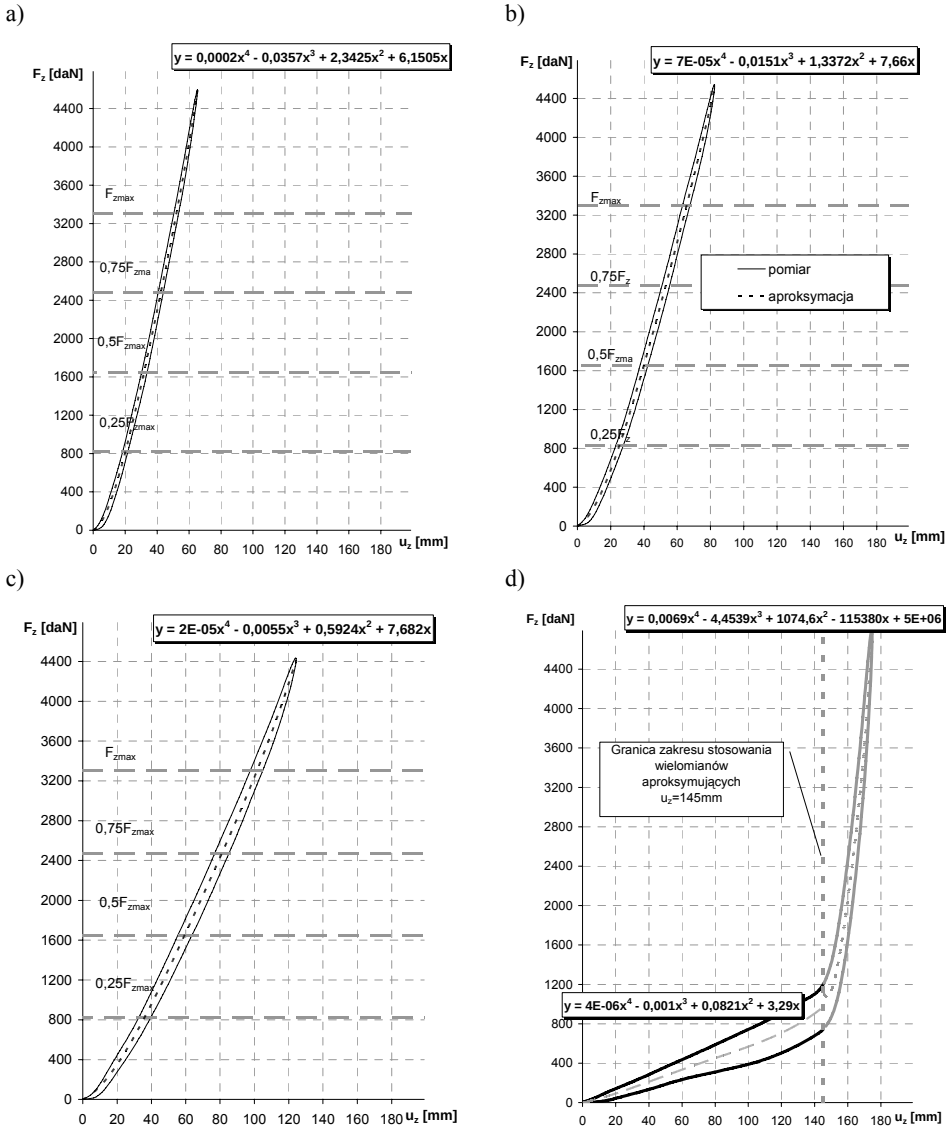
W przypadku gdy wkładka *run-flat* bierze udział w przenoszeniu obciążenia normalnego, konieczne było rozdzielenie charakterystyki sprężystości promieniowej opony na dwa zakresy: zakres sprężystości samej powłoki bez powietrza i zakres sumarycznej sprężystości powłoki i wkładki. Granica podziału charakterystyki na dwa zakresy przypada w granicach ugięcia opony, w którym wkładka *run-flat* zaczyna przenosić obciążenie, czyli $u_z \approx$ 145mm. W poszczególnych zakresach charakterystykę sprężystości promieniowej aproksymowano oddzielnie, dwoma wielomianami, podobnie jak w pracy [8]. Taki sposób opisania charakterystyki daje zadowalające rezultaty. Wynik dopasowania wielomianów oraz ich wzajemnego złożenia przedstawiono na rys. 2d).

6. Analiza sprężystości promieniowej koła

Zmniejszenie wartości ciśnienia powietrza w oponie powoduje istotne obniżenie nachylenia jej charakterystyki sprężystości promieniowej, a więc sztywności promieniowej (rys. 3).

Jednak nawet znaczny spadek ciśnienia powietrza z 500 kPa do 166 kPa nie skutkuje udziałem wkładki *run-flat* w przenoszeniu obciążenia normalnego przez koło. Natomiast w przypadku zupełnego braku ciśnienia powietrza w kole wkładka *run-flat* zaczyna współpracować z podłożem przy ugięciu statycznym opony $u_z \approx$ 145 mm.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

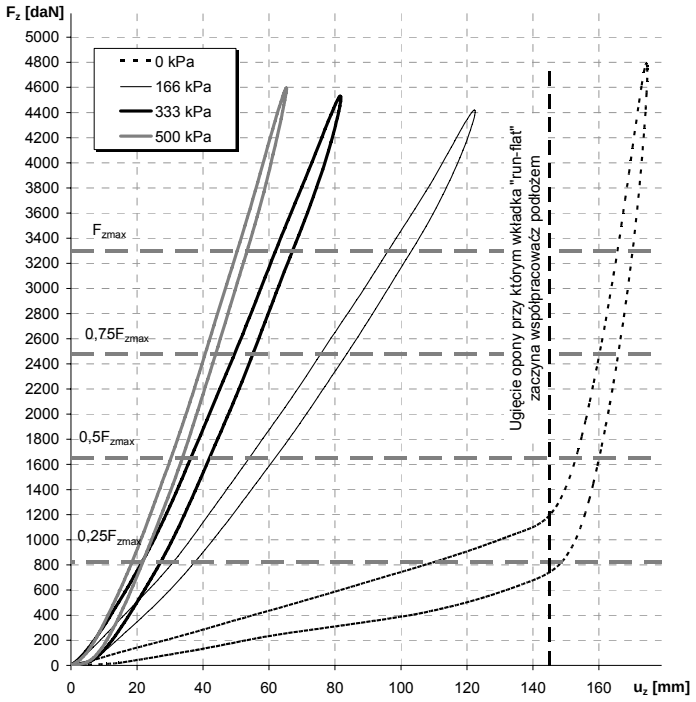


Rys. 2. Charakterystyki sprężystości promieniowej opony 9.00R20 z wkładką *run-flat* wyznaczone przy różnych wartościach ciśnienia powietrza w kole p_k: a) p_k = = 500 kPa, b) p_k = 333 kPa, c) p_k = 166 kPa, d) p_k = 0 kPa

Fig. 2. A set of springiness characteristics of 9.00R20 tire with run-flat insert, determined in different values of air inflation pressure p_k: a) p_k = 500 kPa, b) p_k = 333 kPa, c) p_k = 166 kPa, d) p_k = 0 kPa

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Mimo braku ciśnienia powietrza w kole sama powłoka wykazuje stosunkowo wysoką sztywność w kierunku promieniowym. Sztywność samej powłoki jest w tym przypadku istotną składową sztywności opony napompowanej.



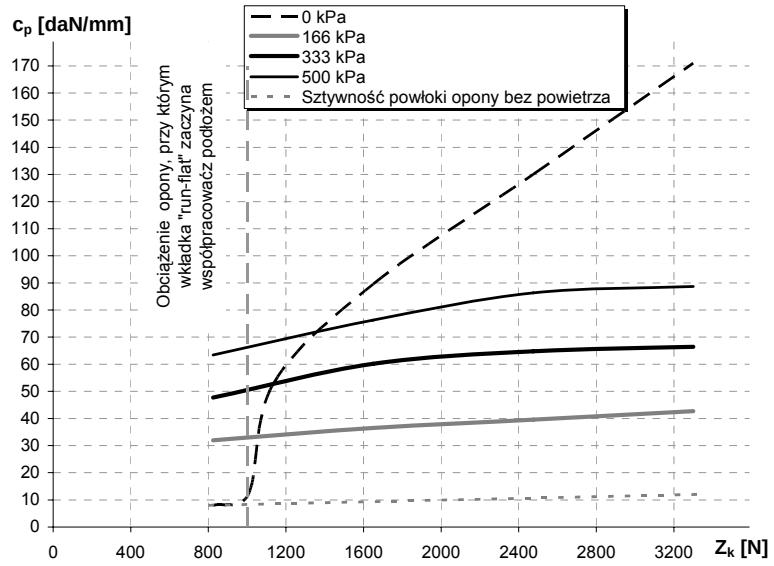
Rys. 3. Porównanie charakterystyk sprężystości promieniowej opony 14.00R20 wyznaczonych w szerokim zakresie zmian wartości ciśnienia powietrza w kole

Fig. 3. A comparison of 14.00R20 tire springiness characteristics, determined in wide rage of inflation pressure changes

Wejście wkładki *run-flat* w kontakt z podłożem (za pośrednictwem czoła powłoki opony) przy ugięciu $u_z \approx 145$ mm powoduje gwałtowny wzrost sztywności promieniowej opony (rys. 4). W zakresie obciążenia nominalnego sumaryczna sztywność promieniowa opony i wkładki *run-flat* jest ponad pięciokrotnie wyższa niż opony napompowanej do ciśnienia 166 kPa i ponad dwukrotnie wyższa niż sztywność opony napompowanej do ciśnienia nominalnego (500 kPa).

Mimo to warto zauważyć, że ugięcie opony bez powietrza jest w zakresie obciążenia nominalnego o ponad 100 mm (ponad 2,5-krotnie) większe niż ugięcie opony napompowanej do ciśnienia nominalnego, co nie jest bez znaczenia z punktu widzenia całego pojazdu i jego właściwości. Obniżanie wartości ciśnienia powietrza w kole powoduje wyraźne zwiększenie szerokości pętli zakreślonej przez linie obciążania i odciążania opony. Pętla ta zwana jest pętlą histerezy opony (rys. 3). Straty histerezy są wywołane tarciem wewnętrznym w powłoce opony podczas jej odkształcania w kierunku promieniowym. Straty histerezy powłoki opony są zasadniczym składnikiem oporu toczenia opony w zakresie

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

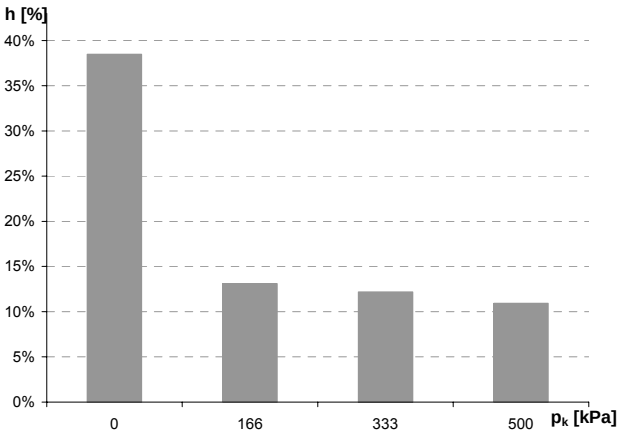


Rys. 4. Zmiany sztywności promieniowej opony w zależności od ciśnienia powietrza w kole i obciążenia normalnego

Fig. 4. Changes of tire radial stiffness due to air inflation pressure and wheel normal load

niskich prędkości toczenia koła [4, 6]. Na podstawie wyznaczonych charakterystyk ogumienia określono wartości współczynnika histerezy *h* jako liczby określającej stosunek pola pętli charakterystyki do całkowitego pola pod górną linią charakterystyki (linią obciążania).

W przypadku badanej opony wartości współczynnika histerezy rosną o ok. 25% w miarę obniżania ciśnienia powietrza w kole od 500 kPa do 166 kPa (rys. 5).



Rys. 5. Zestawienie wartości współczynnika histerezy opony w zależności od ciśnienia powietrza w kole

Fig. 5. A specification of tire hysteresis ratio due to air inflation pressure

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Jednak w przypadku braku ciśnienia powietrza w kole współczynnik histerezy powłoki wzrósł prawie trzykrotnie. Tak wysoka wartość współczynnika histerezy jest przyczyną znacznego zwiększenia oporu toczenia opony. Mimo że opór toczenia nie jest w przypadku pojazdu wojskowego parametrem o znaczeniu podstawowym, to należy pamiętać, że zwiększona ilość energii rozpraszanej w powłoce opony prowadzi do jej intensywnego nagrzewania. Wzrost temperatury może prowadzić do obniżenia żywotności powłoki opony, a w skrajnym przypadku do naruszenia integralności konstrukcji powłoki opony na skutek jej rozwulkanizowania.

7. Podsumowanie

Cel artykułu został osiągnięty. Wyznaczone charakterystyki umożliwiły określenie współczynników wielomianów aproksymujących ich przebiegi, a także analizę właściwości badanej opony, w tym z uwzględnieniem udziału wkładki *run-flat* w przenoszeniu obciążenia normalnego. Ustalone podczas badań wartości ciśnienia powietrza w kole w zakresie, w którym wkładka *run-flat* nie współpracuje z podłożem skutkują znacznym obniżeniem wartości sztywności promieniowej, znacznym wzrostem ugięcia promieniowego i widocznym zwiększeniem strat histerezy opony. W przypadku całkowitego rozszczelnienia opony wkładka *run-flat* powoduje ponad dwukrotny wzrost sztywności promieniowej koła w porównaniu z oponą napompowaną do wartości ciśnienia nominalnego, ale koło pracuje przy ponad dwuipółkrotnie wyższych wartościach ugięcia promieniowego. Jednocześnie zaobserwowano znaczny wzrost wartości współczynnika histerezy opony.

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] Mischke M., *Dynamika samochodu*, t. 2, *Drgania*, WKiŁ, Warszawa 1987, 115.

[3] Jackowski J., Prochowski L., *Analiza wpływu konstrukcji ogumienia na obciążenia dynamiczne pojazdu i nawierzchni drogi*, Biuletyn WAT 10/89.

[4] Fielding-Russell G.S., Pillai P.S., *Tire rolling resistance from whole-tire hysteresis ratio*, Rubber Chemistry and Technology, Vol. 65, No. 2, May–Jun 1992, 444-452.

[5] Jackowski J., Luty W., Wieczorek M., *Oszacowanie oporu toczenia ogumienia 12R22.5*, Biuletyn WAT, Vol. L, Nr 9 (2001).

[6] Pillai P.S., *Total Tire Energy Loss Comparison by the Whole Tire Hysteresis and the Rolling Resistance Methods*. *Tire Science and Technology*, Vol. 23, Issue 4, October 1995, 256-265.

[7] Luty W., Prochowski L., Szurkowski Z., *Stanowisko do badań ogumienia dużego rozmiaru*, VII Międzynarodowe Sympozjum IPM, Warszawa–Rynia, 8–10.12.1999.

[8] Luty W., Simiński P., *Analiza sprężystości promieniowej ogumienia z wkładką „run-flat"*, Journal of KONES, Powertrain and Transport, Vol. 14 (2007), No. 2, 283-290.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ