

Mirosław WITASZEK, Kazimierz WITASZEK

## **LABORATORYJNA OCENA WPŁYWU NACISKU I PRĘDKOŚCI ŚLIZGANIA NA INTENSYWNOŚĆ ZUŻYCIA STALI OBRĘCZOWEJ GATUNKU B6T PRZY SUCHYM TARCIIU ŚLIZGOWYM**

**Streszczenie.** Koła kolejowe są odpowiedzialnymi elementami o dużym wpływie na bezpieczeństwo i niezawodność przewozów. Ich zużywanie, będące skutkiem tarcia pomiędzy kołami a szynami, jest ważną przyczyną utraty właściwości użytkowych. Zużywanie to zależy między innymi od takich czynników, jak nacisk i prędkość ślizgania. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu tych czynników na zużycie stali gatunku B6T stosowanej na obręcze kół lokomotyw.

## **LABORATORY ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF CONTACT PRESSURE AND SLIDING SPEED ON WEAR RATE OF A TYRE STEEL GRADE B6T IN DRY SLIDING CONDITIONS**

**Summary.** Rail wheels are responsible elements with significant influence on the transport safety and reliability. Their wear, caused by a wheel – rail friction, is an important cause of wheels deterioration. This wear is strongly influenced by such factors as contact pressure and sliding velocity. In the present work the influence of these factors on dry, sliding wear of a tyre steel grade B6T is studied. This steel is used for locomotive tyres manufacturing.

### **1. WPROWADZENIE**

Przewoźnikom kolejowym stawiane są wysokie wymagania odnośnie do niezawodności czy bezpieczeństwa przewozów. Autorzy pracy [1] stwierdzają, że w odniesieniu do kolei wymagania te są szczególnie rygorystyczne w porównaniu z wymaganiami stawianymi innym przewoźnikom. Odpowiedzialną rolę w zapewnieniu niezawodności oraz bezpieczeństwa jazdy pełnią zestawy kołowe [2]. Tarcie pomiędzy kołami zestawów i szynami wywołuje zużywanie tribologiczne elementów. Jak podano w pracy [3], we właściwie skonstruowanych obiektach mechanicznych zużycie spowodowane tarciami może być nawet w 80 – 90% przyczyną utraty ich własności użytkowych. Doświadczenia eksploatacyjne wskazują na to, że procesy zużycia wywierają istotny wpływ na trwałość i niezawodność kół. W przypadku pojazdów pracujących na terenach górskich jest ono szczególnie intensywne [4]. W celu poprawienia ich trwałości i niezawodności konieczna jest więc znajomość wpływu tych warunków na proces zużycia. Ze względu na dużą zmienność warunków eksploatacyjnych doświadczenia zebrane w trakcie użytkowania pojazdów nie są w pełni wystarczające dla

oceny procesu zużywania współpracujących elementów. Konieczne są więc badania laboratoryjne, w których warunki można ustabilizować.

Najintensywniejszemu zużyciu ulegają obrzeża kół, współpracujące z bokami główek szyn w warunkach tarcia suchego, przy największym udziale ruchu ślizgowego [4, 5]. Do symulowania skojarzenia obrzeża koła z bokiem główki szyny znajdującej się w łuku często są wykorzystywane stanowiska badawcze zużycia przy suchym tarcu ślizgowym [5 – 8]. W badaniach laboratoryjnych przedstawionych w pracy wykorzystano takie stanowisko.

Celem badań było określenie wpływu nacisku i prędkości ślizgania na zużycie próbek wykonanych ze stali gatunku B6T (wg. karty UIC 810 – 1) stosowanej do wytwarzania obręczy kół lokomotyw.

## 2. BADANIA WŁASNE

Badania własne obejmowały pomiary zużycia, przeprowadzone na zmodyfikowanym stanowisku Timkena, przy suchym tarcu ślizgowym. Do badań wykorzystano stal B6T, której skład chemiczny i twardość przedstawiono w tabeli 1.

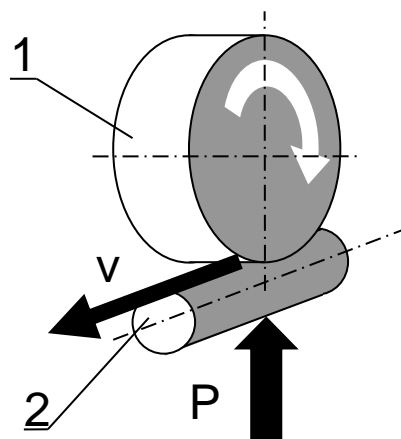
Tabela 1

Skład chemiczny i twardość badanej stali gatunku B6T

| Skład chemiczny |      |      |       |       |      |      |      |       | Twardość |
|-----------------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|----------|
| C               | Mn   | Si   | P     | S     | Cr   | Ni   | Cu   | Al    | HB       |
| 0,61            | 0,82 | 0,34 | 0,010 | 0,004 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,031 | 285      |

Badane skojarzenie stanowiły dwa walce o osiach prostopadłych (rys. 1). Dzięki temu uzyskano punktowy styk skoncentrowany, typowy dla kół i szyn kolejowych. Dolny, nieruchomy walec (próbka) był wykonany z badanej stali. Jego średnica wynosiła 10 mm, a wysokość 40 mm. Górny, obracający się walec stanowił przeciwpróbkę. Ponieważ w badaniach zużycia w stykach skoncentrowanych przy tarcu ślizgowym często wykorzystywane są przeciwpróbki o znacznie większej twardości niż materiał badany [6-9], do badań zastosowano zewnętrzny pierścień łożyska stożkowego typu 30204A, wykonany ze stali 100Cr6 (ŁH15), o twardości 62 HRC. Jego średnica wynosiła 47 mm. Badania prowadzono w warunkach zamieszczonych w tabeli 2.

Kryterium oceny pomiarów zużycia była objętość śladu zużycia, który powstawał na próbce. Objętość tę określano metodą optyczną, opisaną w pracy [10]. Metodą tą wyznaczano również nominalną powierzchnię styku, co przy znanym obciążeniu pozwalało na obliczenie nacisku w styku próbki i przeciwpróbki w momencie zakończenia badania. Przykładową zależność nacisku od drogi tarcia dla obciążenia równego 108 N i prędkości ślizgania  $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  przedstawiono na rysunku 2. Zużycie objętościowe dla tych samych parametrów pokazano na rysunku 3.



Rys. 1. Schemat układu badawczego: 1 – przeciwpółka; 2 – próbka, P – obciążenie, v – prędkość ślizgania  
 Fig. 1. A scheme of the research system: 1 – counter-specimen; 2 – specimen, P – load, v – sliding speed

Tabela 2

Parametry badań

| Parametr                                  | Wartości               |
|---|------------------------|
| Obciążenie P, N                           | 40, 63, 86, 108        |
| Prędkość ślizgania v, m · s <sup>-1</sup> | 0,2; 0,4; 0,6          |
| Droga tarcia L, m                         | 10, 20, 30, 40, 50, 60 |

Z rysunku 3 wynika, że z wydłużeniem drogi tarcia następuje powiększenie zużycia. Proces ten przebiega najintensywniej na początku badania, gdy powierzchnia śladu współpracy jest jeszcze najmniejsza. Elementy testowe pracują wówczas w warunkach dużego nacisku, który zmniejsza się w trakcie eksperymentu (rys. 2). Takie zmiany nacisku podczas badania wpływają znacząco na intensywność zużywania i są charakterystyczne dla licznych skojarzeń o styku skoncentrowanym, pracujących w warunkach tarcia ślizgowego [11].

### 3. ANALIZA WYNIKÓW

Z uzyskanych zależności zużycia (Z) i drogi tarcia (L) wyznaczono intensywność zużywania  $I_v$  opisaną zależnością [9]:

$$I_v = \frac{dZ}{dL}, \quad (1)$$

gdzie:

$I_v$  – intensywność zużywania, mm<sup>3</sup> · m<sup>-1</sup>,

Z – zużycie objętościowe, mm<sup>3</sup>,

L – droga tarcia, m.

Ze względu na znaczny rozrzut wyników (rys. 2 i 3) przeprowadzono aproksymację zależności zużycia od drogi tarcia, korzystając z funkcji potęgowej:

$$Z = a \cdot L^b, \quad (2)$$

gdzie a, b – współczynniki liczbowe określone za pomocą regresji.

Aproksymację przeprowadzono dla poszczególnych warunków tarcia: obciążenie - prędkość. Funkcję uzyskaną dla obciążenia równego 108 N i prędkości  $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  przedstawiono na rysunku 3 linią ciągłą. Intensywność zużywania określona na jej podstawie przedstawiono na rysunku 4.

W celu skorelowania obliczonych intensywności zużywania z naciskiem (rys. 2 i 4) przeprowadzono aproksymację zależności nacisku od drogi tarcia funkcją potęgową opisaną zależnością:

$$p = \alpha \cdot L^\beta, \quad (3)$$

gdzie  $\alpha, \beta$  – współczynniki liczbowe określone za pomocą regresji.

Funkcję otrzymaną dla obciążenia równego 108 N i prędkości  $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  zaznaczono na rysunku 2 linią ciągłą.

Wpływ nacisku i prędkości ślizgania na intensywność zużywania został opisany za pomocą następującej zależności:

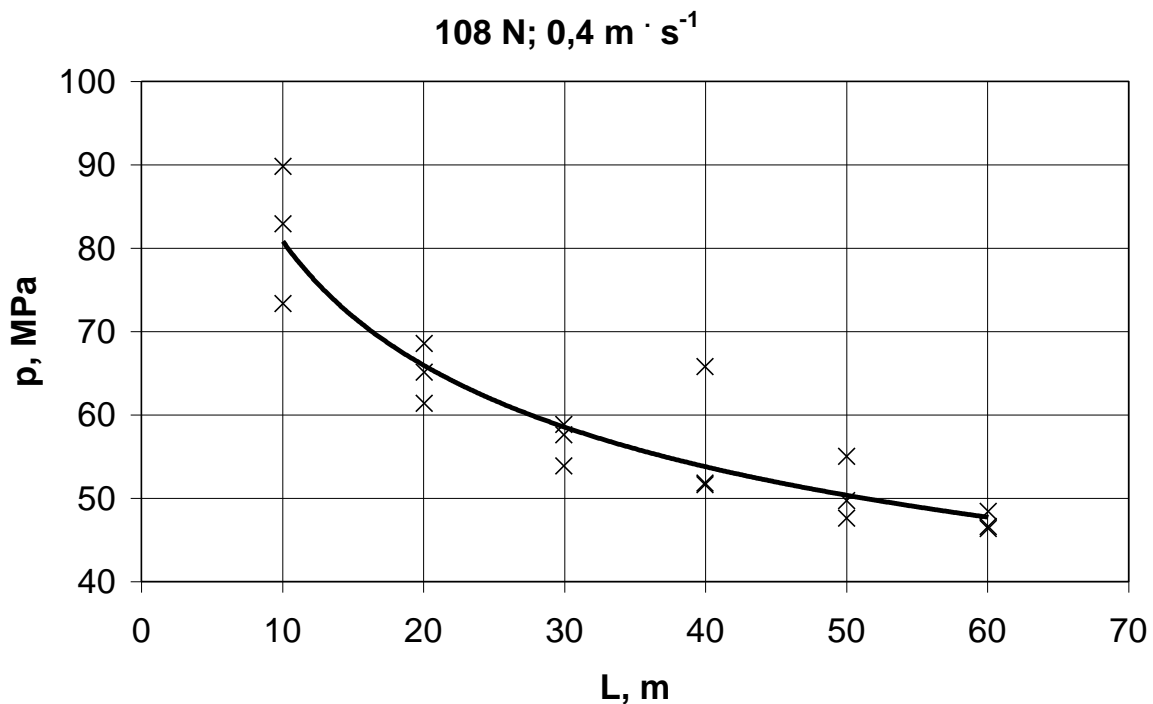
$$I_V = c_1 \cdot p + c_2 \cdot v + c_{22} \cdot v^2 + c_{12} \cdot p \cdot v, \quad (4)$$

gdzie:

$p$  – nacisk, MPa,

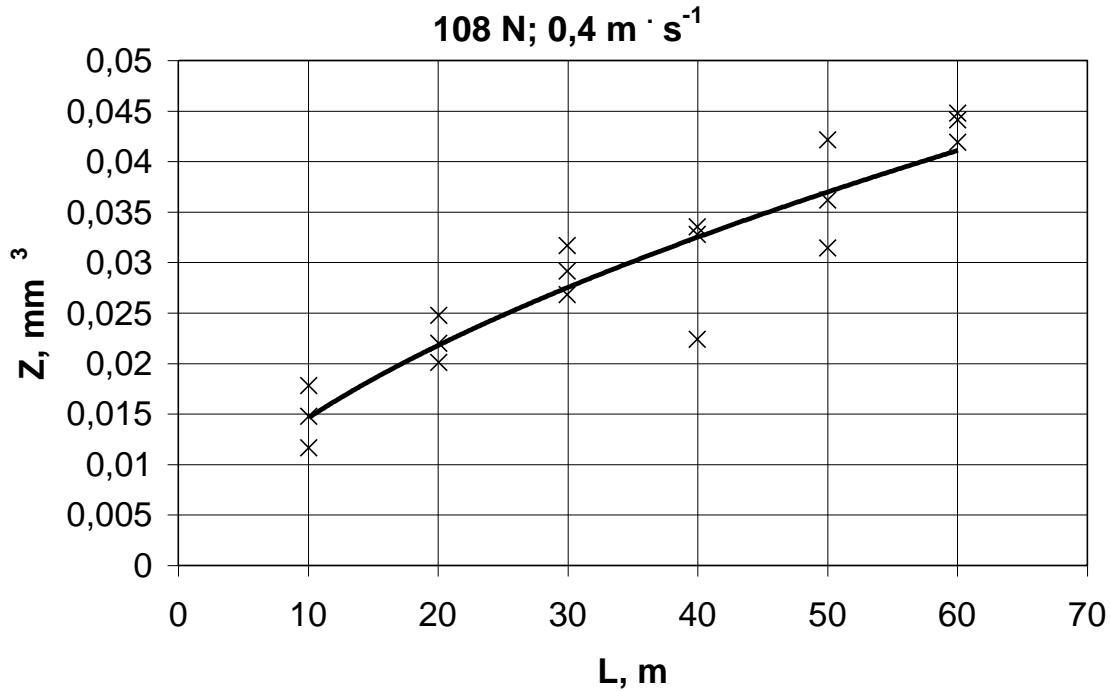
$v$  – prędkość ślizgania,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

$c_1, c_2, c_{12}, c_{22}$  – współczynniki liczbowe określone za pomocą regresji, podane w tabeli 3.



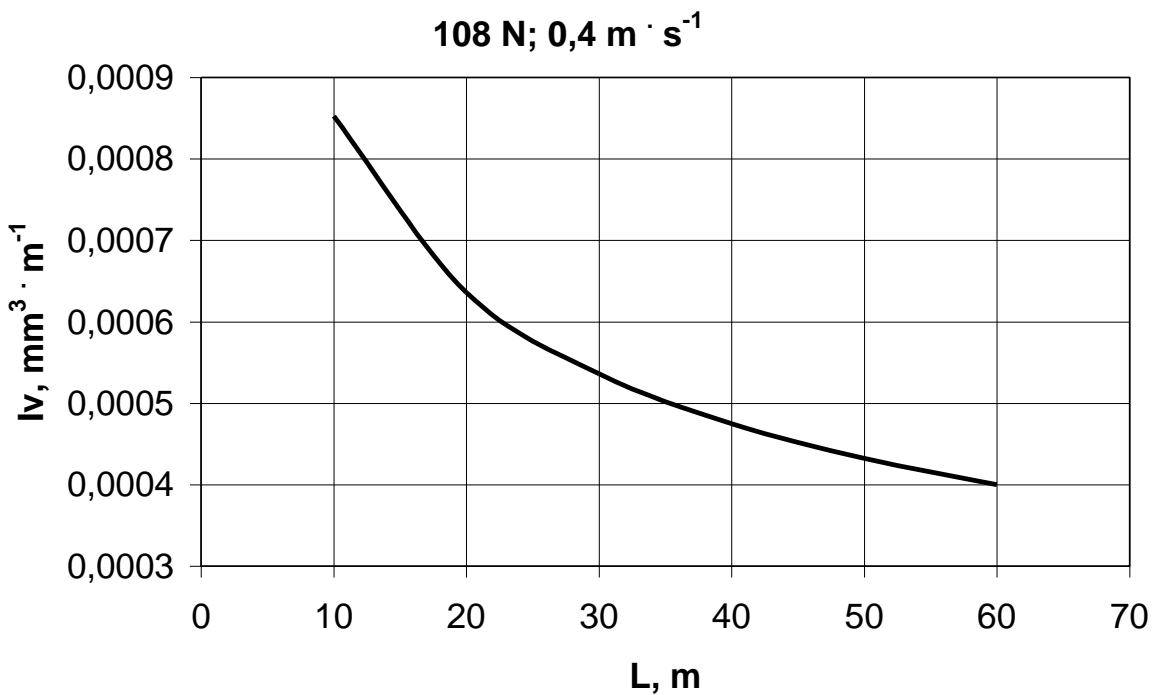
Rys. 2. Zmiana nacisku między przeciwpróbką i próbką ze stali B6T w funkcji drogi tarcia, przy obciążeniu 108 N i prędkości  $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 2. Pressure in a contact between a counter-specimen and a specimen made of steel grade B6T vs. sliding distance, for a load of 108 N and sliding speed of  $0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



Rys. 3. Przebieg zużycia objętościowego stali B6T w funkcji drogi tarcia, przy obciążeniu 108 N i prędkości 0,4 m · s<sup>-1</sup>

Fig. 3. Wear volume of steel grade B6T vs. sliding distance, for a load of 108 N and sliding speed of 0.4 m · s<sup>-1</sup>



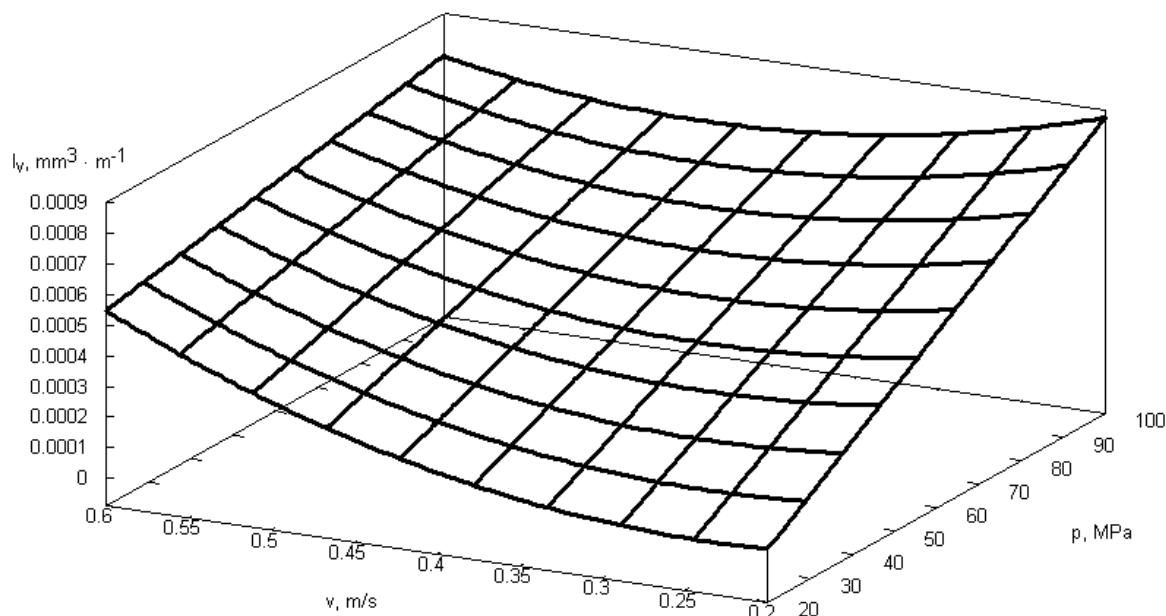
Rys. 4. Przebieg intensywności zużycia stali B6T w funkcji drogi tarcia, przy obciążeniu 108 N i prędkości 0,4 m · s<sup>-1</sup>

Fig. 4. Wear rate of steel grade B6T vs. sliding distance, for a load of 108 N and sliding speed of 0.4 m · s<sup>-1</sup>

Tabela 3  
Współczynniki liczbowe równania (4)

| Współczynnik | Wartość              |
|--------------|----------------------|
| $c_1$        | $1,35 \cdot 10^{-5}$ |
| $c_2$        | -0,00127             |
| $c_{22}$     | 0,0035               |
| $c_{12}$     | $-1,8 \cdot 10^{-5}$ |

Jakość regresji oceniono za pomocą współczynnika korelacji  $R$ , który wynosił 0,84. Pozwoliło to na wykorzystanie wyznaczonej funkcji (4) w dalszej analizie. Wpływ badanych warunków współpracy, tj. nacisku i prędkości ślizgania na intensywność zużywania badanej stali, opisany równaniem (4), przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wpływ nacisku i prędkości ślizgania na intensywność zużywania stali obręczowej gatunku B6T  
Fig. 5. The influence of pressure and sliding speed on wear rate of the tyre steel grade B6T

Z rysunku 5 wynika, że w testowanym zakresie najniższa intensywność zużywania badanej stali występuje przy najmniejszym nacisku oraz minimalnej prędkości. Przyczyną tego może być występowanie tlenków na współpracujących powierzchniach. Ograniczają one możliwości powstawania kontaktów metalicznych nierówności, a tym samym adhezji [12, 13].

Zwiększenie nacisku sprzyja oddzielaniu się tlenków z powierzchni i ich wykruszaniu [12]. Skutkuje to podwyższeniem intensywności zużywania (rys. 5). Opisany wpływ nacisku na intensywność zużywania występuje w całym badanym zakresie prędkości ślizgania, zwłaszcza przy najmniejszych wartościach prędkości. Dla większych prędkości następuje podwyższenie temperatury w obszarze styku współpracujących elementów. Sprzyja to utlenianiu powierzchniowemu [12, 13], co może prowadzić do obniżenia intensywności zużywania, które jest widoczne na rys. 5, zwłaszcza przy dużym nacisku.

W podwyższonej temperaturze może dochodzić także do zmniejszenia twardości materiału warstwy wierzchniej, co sprzyja kruszeniu się tlenków i ich usuwaniu, intensyfikując zużywanie [12]. Podobnie jak w przypadku stali szynowej gatunku 900A [9] niekorzystny wpływ prędkości na intensywność zużywania jest tym wyraźniejszy, im niższy jest nacisk (rys. 5).

#### 4. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

Transport szynowy wykorzystuje do funkcjonowania zjawisko tarcia w skojarzeniu koło - szyna. Jednym z efektów tego zjawiska jest zużycie kół i szyn. Na to zużycie wywierają wpływ warunki współpracy, takie jak nacisk oraz prędkość ślizgania [14]. Wyniki badań wpływu tych warunków na zużycie stali obřeczowej gatunku B6T pozwoliły na stwierdzenie, że wpływ nacisku i prędkości ślizgania na intensywność zużywania próbek wykonanych z badanej stali jest ze sobą powiązany. Zaobserwowano, że:

1. Wskutek podwyższenia nacisku wzrasta intensywność zużywania próbek, szczególnie przy małej prędkości.
2. Zwiększenie prędkości przy małym nacisku wywołuje podwyższenie intensywności zużywania.
3. Przy dużym nacisku występują stosunkowo małe zmiany intensywności zużywania dla rosnącej prędkości. Są one spowodowane utlenianiem się powierzchni próbki w wyniku podwyższenia temperatury.

Istotnym czynnikiem wpływającym na zużycie kół i szyn kolejowych jest dobór materiału na te elementy [15, 16]. Dlatego w ramach dalszych prac autorzy zamierzają prowadzić badania zużywania stali obřeczowych innych gatunków.

#### Bibliografia

1. Gugałka T., Gąszczak J.: Diagnostyka zestawu kołowego w taborze podczas jazdy oraz sposoby i metody usuwania stwierdzonych usterek w zestawie na przykładzie Zakładu Taboru w Szczecinie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 39, Gliwice 1999, s. 47 - 55.
2. Guzowski S.: Ocena zużycia elementów zestawów kołowych w badaniach modelowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 39, Gliwice 1999, s. 57 - 63.
3. Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach tarcia. Praca zbiorowa pod redakcją W. Zwierzyckiego. PWN, Warszawa - Poznań 1990.
4. Bejenka K., Marciniak Z., Medwid M.: Wpływ smarowania obrzeży kół lokomotyw spalinowych i elektrycznych na tempo ich zużycia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 14, Gliwice 1990, 51-58.
5. Viáfara C.C, Castro M.I., Vélez J.M., Toro A.: Unlubricated sliding wear of pearlitic and bainitic steels. *Wear* 259 (2005), 405-411.
6. Robles Hernández F.C., Demas N.G., Davis D.D., Polycarpou A.A., Maal L.: Mechanical properties and wear performance of premium rail steels. *Wear*, 263 (2007), 766-772.
7. Ki Myung Lee, Polycarpou A.A.: Wear of conventional pearlitic and improved bainitic steels. *Wear* 259 (2005), 391-399.
8. Witaszek M., Witaszek K.: Laboratory wear assessment of selected elements of railway transport means. *Problemy Transportu*, 2 (2007) 1, 71-77.
9. M. Witaszek, K. Witaszek: Laboratoryjna ocena zużycia stali szynowej gatunku 900A przy suchym tarcu ślizgowym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 61, Gliwice 2007, s. 255 – 262.
10. Witaszek S.: Komputerowa metoda pomiaru zużycia. II Studencka Sesja Naukowa, Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katowice, 04.06.2004.

11. Kozyrev Yu.P, Ginzburg B.M., Priemskii N.D., Tochilnikov D.G., Bulatov V.P.: Express investigations of wear process by means of cylindrical counterbodies. Part I: Calculations and technique. *Wear*, 171 (1994), 71-75
12. Lim S.C., Ashby M.F., Brunton J.H.: Wear rate transitions and their relationship to wear mechanisms. *Acta metall.* Vol. 35 (1987) nr 6, 1343-1348.
13. Lim S.C.: The relevance of wear - mechanism maps to mild – oxidational wear. *Tribology International* 35 (2002), 717-723.
14. Lewis R., Olofsson U.: Mapping rail wear regimes and transitions, *Wear* 257 (2004), 721-729.
15. Łoniewski G.: Zestawy kołowe pojazdów - kierunki i tendencje rozwojowe. *Trakcja i Wagony*, nr 4-5, 1983, 121-126.
16. Olofsson U., Telliskivi T.: Wear, plastic deformation, and friction of two rail steels – full-scale test and a laboratory study. *Wear*, 254 (2003), 80-93.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Franciszek Binczyk

*Praca wykonana w ramach BW-510/RT1/2008*