

Mirosław WITASZEK, Kazimierz WITASZEK

WPLYW WYBRANYCH WARUNKÓW WSPÓŁPRACY NA ZUŻYCIE STALI ŚREDNIOWĘGLOWYCH

Streszczenie. Badania prezentowane w niniejszym artykule są fragmentem szerszego programu zatytułowanego „Wpływ wybranych warunków współpracy na tarcie i zużycie w systemie koło – szyna”. Program ten obejmuje badania tarcia i zużycia materiałów stosowanych na koła i szyny kolejowe oraz zbliżonych do nich. Badania te prowadzone są zarówno przy tarcu tocznym z poślizgiem, jak i ślizgowym, na różnych stanowiskach. W artykule przedstawiono wyniki porównawczych badań zużycia wybranych stali średniowęglowych, które przeprowadzono na stanowisku Timkena, przy suchym tarcu ślizgowym.

THE INFLUENCE OF SELECTED SERVICE CONDITIONS ON WEAR OF MEDIUM – CARBON STEELS

Summary. The investigations presented in this paper are a part of wider programme, which title is “The influence of selected service conditions on friction and wear of wheel – rail system”. That programme contains friction and wear researches of materials used for rails and wheels and similar ones. The researches are carried out on different machines which simulate rolling – sliding and sliding friction. In this article the results of some comparative wear tests of selected, medium – carbon steels have been presented. These sliding - wear tests have been carried out on a Timken wear testing machine.

1. WPROWADZENIE

Zużycie kół kolejowych jest jednym z podstawowych czynników warunkujących ich trwałość. Szczególne znaczenie ma zużycie obrzeży pracujących w warunkach tarcia suchego, przy największym udziale tarcia ślizgowego [1, 2]. Dlatego badania zużycia przy suchym tarcu ślizgowym są chętnie wykorzystywane do badań porównawczych stali stosowanych na koła i szyny kolejowe [1, 3]. Intensywność zużycia kół i szyn jest uzależniona między innymi od warunków ich współpracy [4]. Warunki te zależą od obciążenia współpracujących elementów oraz rodzaju i prędkości ruchu [5]. Również parametry materiału tych elementów, takie jak twardość czy skład chemiczny, wywierają istotny wpływ na ich zużycie [1, 3, 4].

W pracy porównano wpływ warunków współpracy na zużycie średniowęglowych stali 45 i 55 (PN-93/H-84019), które według pracy [6] mogą być zastosowane do modelowania materiału używanego na koła kolejowe.

2. BADANIA WŁASNE

Celem badań własnych było określenie wpływu obciążenia, prędkości ruchu względnego oraz drogi tarcia na zużycie próbek z wybranych, średniowęglowych stali przy suchym tarcu ślizgowym. Jego osiągnięcie wymagało przeprowadzenia badań laboratoryjnych. Badaniom tym poddano stale gatunków 45 i 55, których skład chemiczny przedstawiono w tabeli 1. Twardość badanej stali 45 wynosiła 250 HB, a stali 55 – 206 HB.

Tabela 1

Skład chemiczny i twardość badanych stali

Stal	Skład chemiczny, %										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	Sn
45	0,47	0,69	0,23	0,007	0,019	0,14	0,18	0,22	0,021	0,06	-
55	0,58	0,61	0,2	0,014	0,014	0,09	0,05	0,14	0,004	0,001	0,001

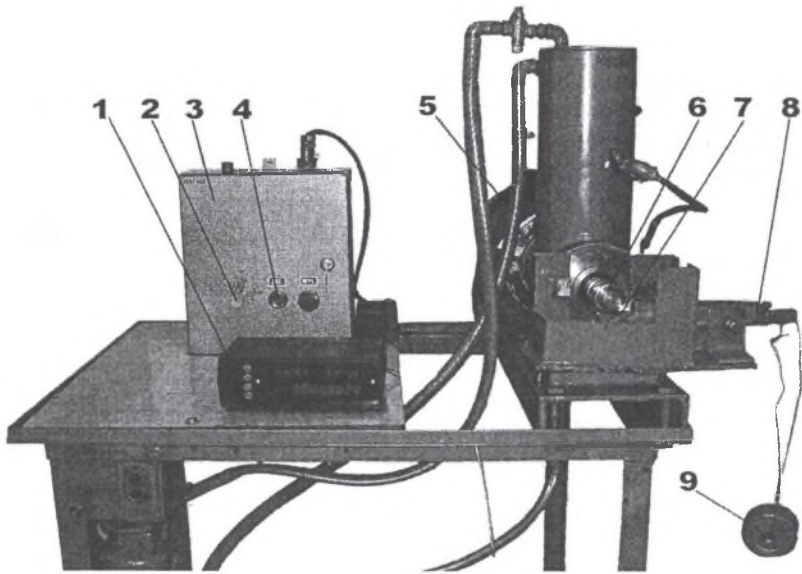
Laboratoryjne badania zużycia wykonano na zmodyfikowanym stanowisku Timkena (rys. 1). Prowadzono je w układzie dwóch walców o osiach prostopadłych (rys. 2). Umożliwił on uzyskanie punktowego styku skoncentrowanego, jaki często występuje w skojarzeniu koło - szyna. Próbkę miały kształt walców o średnicy 10 mm i wysokości 40 mm. Wykonane były z badanych stali. Przeciwpóbkę stanowił zewnętrzny pierścień łożyska stożkowego typu 30204A, o średnicy 47 mm, wykonany ze stali ŁH15, o twardości 62 HRC. W trakcie badania pierścień ten wykonywał ruch obrotowy, podczas gdy próbka pozostawała w spoczynku. W wyniku współpracy na próbce powstawał ślad zużycia (rys. 3), którego wymiary służyły do określania objętości zużytego materiału metodą optyczną, opisaną w pracy [7].

Parametrami badań były:

- obciążenie P,
- prędkość liniowa przeciwpóbkki w miejscu styku z próbka v,
- droga tarcia L.

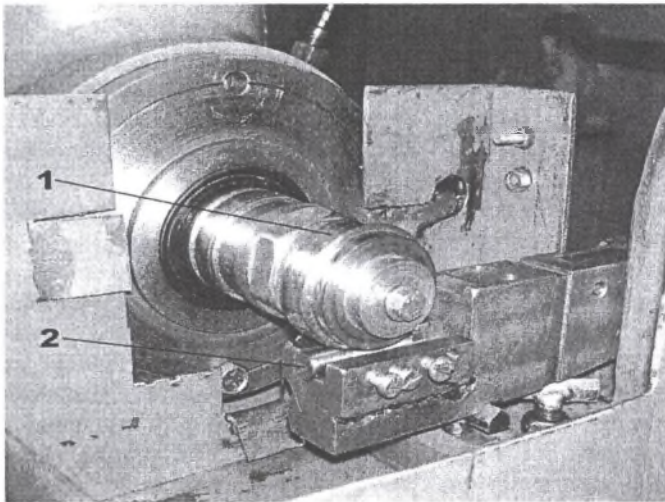
Z uwagi na wzrost powierzchni śladu zużycia w trakcie badania występowało zmniejszanie się nacisku w styku współpracujących elementów. Charakteryzowanie obciążenia za pomocą nacisku uniemożliwiła jego zależność od zużycia, będącego wielkością określaną w badaniach. Spowodowało to konieczność określania obciążenia za pomocą siły dociskającej próbkę do przeciwpóbkki.

Wykonano łącznie 139 badań obu stali, dla obciążenia równego: 63,1, 108,2 i 153,3 N; prędkości liniowej: 0,12, 0,25, 0,36 i 0,49 m · s⁻¹ oraz drogi tarcia: 7,38, 14,76 i 22,15 m. Przykładowe wyniki badań przedstawiono na rys. 4 – 8 w ramach ich analizy.



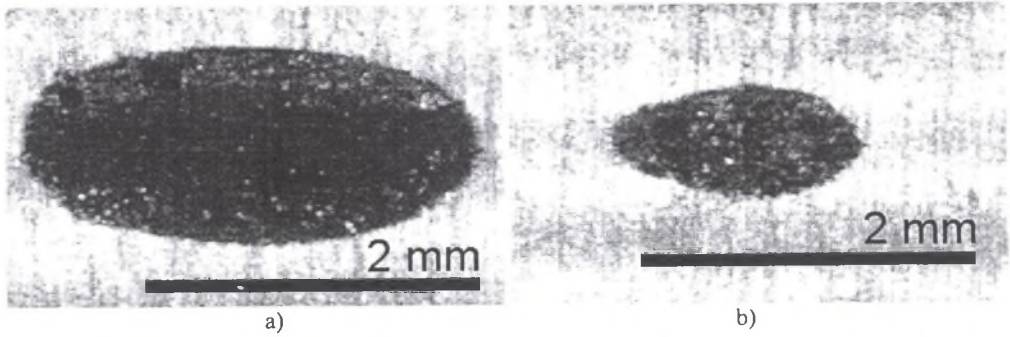
Rys. 1. Zmodyfikowane stanowisko Timkena [8]: 1 – licznik obrotów; 2 – potencjometr regulacji prędkości obrotowej; 3 – sterownik silnika; 4 – wyłącznik; 5 – silnik elektryczny prądu stałego; 6 – przeciwpółka; 7 – próbka; 8 – dźwignia dwustronna; 9 – obciążnik

Fig. 1. Modified Timken wear testing machine [8]: 1 – counter of revolutions; 2 – potentiometer for rotating – speed controlling; 3 – motor controller; 4 – switch; 5 – DC-motor; 6 – counter-specimen; 7 – specimen; 8 – first-order lever; 9 – weight



Rys. 2. Układ badawczy [8]: 1 – przeciwpółka; 2 – próbka

Fig. 2. Research system [8]: 1 – counter-specimen; 2 – specimen



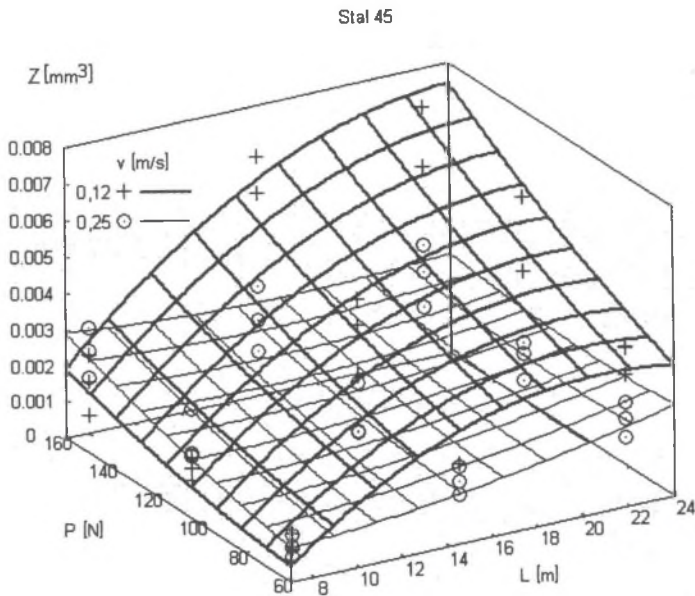
Rys. 3. Przykłady śladów zużycia próbek ze stali 45 powstałych w następujących warunkach: a) $P = 63,1 \text{ N}$, $v = 0,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $L = 22,15 \text{ m}$; b) $P = 63,1 \text{ N}$, $v = 0,36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $L = 7,38 \text{ m}$
 Fig. 3. Examples of wear scars obtained on specimens made of steel grade 45 in the following test conditions: a) $P = 63.1 \text{ N}$, $v = 0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $L = 22.15 \text{ m}$; b) $P = 63.1 \text{ N}$, $v = 0.36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $L = 7.38 \text{ m}$

3. ANALIZA WYNIKÓW

Na rys. 4 - 8 przedstawiono wpływ obciążenia i drogi tarcia na zużycie objętościowe stali 45 i 55, przy różnych wartościach prędkości. Na rysunkach tych zamieszczono wyniki badań i powierzchnie drugiego stopnia, dopasowane do nich, metodą Levenberga – Marquardta, w programie Gnuplot. Celem zamieszczenia tych powierzchni było lepsze uwidocznienie wpływu obciążenia, drogi tarcia i prędkości na zużycie badanych stali, niż byłoby to możliwe za pomocą samych punktów przedstawiających wyniki pomiarów.

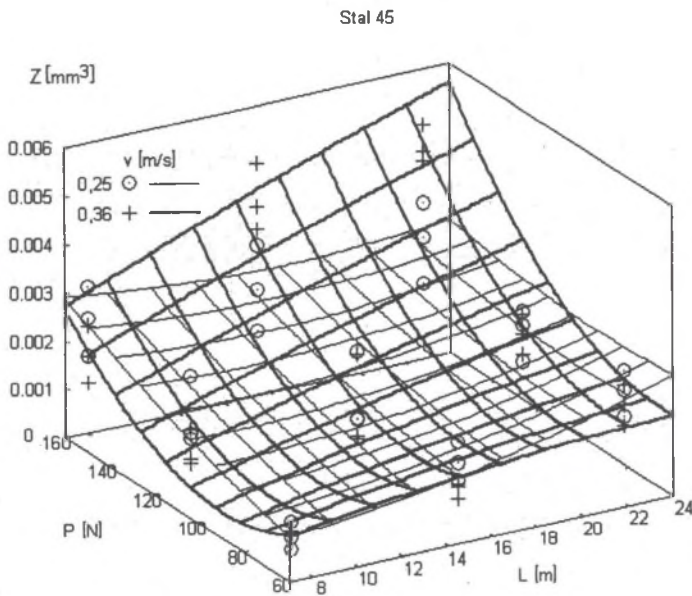
Z rysunków 4 - 8 wynika, że zwiększenie obciążenia powoduje podwyższenie zużycia. Przyczyną tego może być zwiększenie intensywności zużywania ściernego, a zwłaszcza mikroskrawania warstwy wierzchniej materiału próbki przez nierówności powierzchni przeciwpróbki o wysokiej twardości. Ze zwiększeniem drogi tarcia również obserwowano podwyższenie zużycia, gdyż rośnie wówczas ilość nierówności powierzchni przeciwpróbki współpracującej z powierzchnią próbki.

Podwyższenie prędkości z $0,12$ do $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ obniża znacząco zużycie (rys. 4). Może to być spowodowane intensywniejszym wydzielaniem się ciepła wskutek tarcia, powodującym zwiększenie temperatury współpracujących elementów. Wyższa temperatura sprzyja powstawaniu tlenków na współpracujących powierzchniach [9]. Obecność tlenków w skojarzeniu zapobiega występowaniu kontaktów metalicznych i adhezji, obniżając w efekcie intensywność zużycia [9]. Największe obniżenie zużycia ze zwiększeniem prędkości zaobserwowano przy dużej wartości drogi tarcia, przy której temperatura powierzchni jest największa. Wskazuje to również na ww. przyczynę omawianego obniżenia zużycia. Dalsze podniesienie prędkości z $0,25$ do $0,36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (rys. 5) wywołuje niewielkie obniżenie zużycia przy małej wartości obciążenia. Natomiast przy dużym obciążeniu zaobserwowano wyraźne podwyższenie zużycia, które może być spowodowane zwiększeniem intensywności zużywania utleniającego. W większej temperaturze utlenianie przebiega szybciej i warstwa tlenku osiąga wcześniej grubość krytyczną, przy której następuje jej oddzielenie, prowadzące do zużycia. Jednak przy prędkości równej $0,36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ zużycie pozostaje nadal mniejsze niż przy prędkości $0,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (rys. 6). Świadczy to o korzystnym wpływie obecności tlenków na zużycie próbek wykonanych z badanych stali.



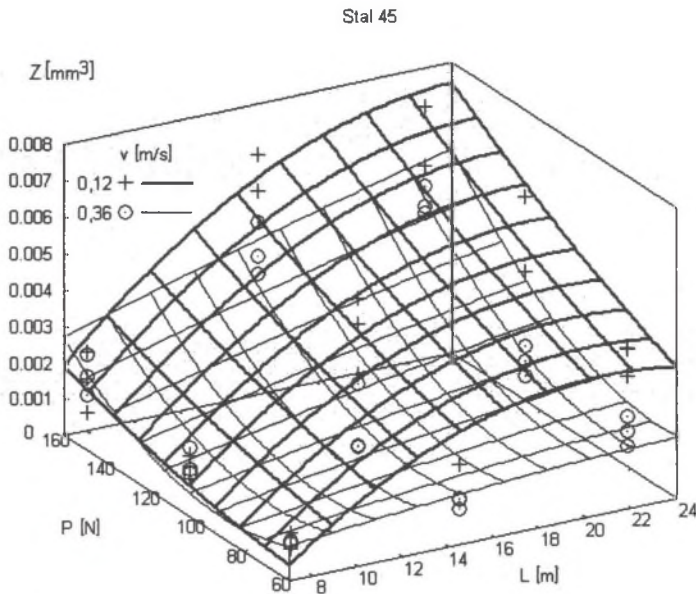
Rys. 4. Wpływ obciążenia i drogi tarcia na zużycie objętościowe stali 45, przy prędkości równej $0,12$ i $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 4. The influence of load and sliding distance on wear volume of steel grade 45, for sliding speed of 0.12 and $0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



Rys. 5. Wpływ obciążenia i drogi tarcia na zużycie objętościowe stali 45, przy prędkości równej $0,25$ i $0,36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 5. The influence of load and sliding distance on wear volume of steel grade 45, for sliding speed of 0.25 and $0.36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



Rys. 6. Wpływ obciążenia i drogi tarcia na zużycie objętościowe stali 45, przy prędkości równej 0,12 i 0,36 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

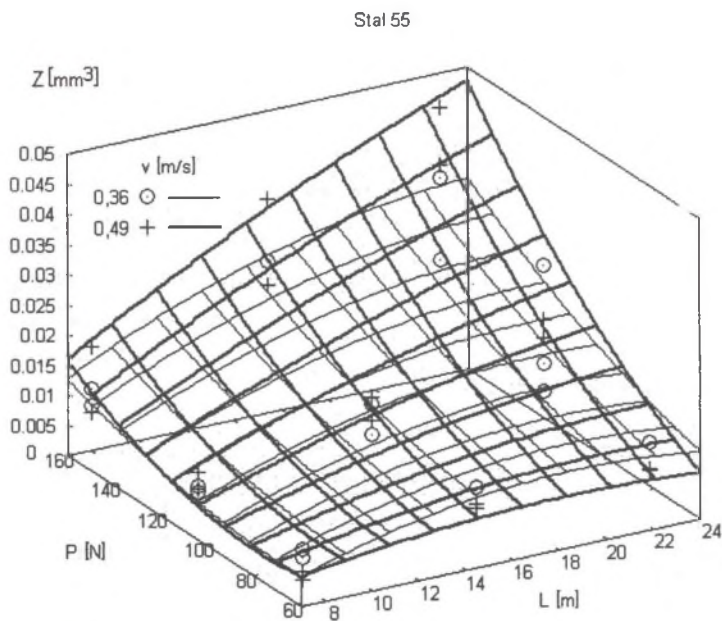
Fig. 6. The influence of load and sliding distance on wear volume of steel grade 45, for sliding speed of 0.12 and 0.36 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Przy zwiększeniu prędkości z 0,36 do 0,49 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ obserwuje się te same prawidłowości również dla drugiej przebadanej stali (rys. 7). Zużycie obu badanych stali zestawiono na rys. 8. Z rysunku tego wynika, że zużycie badanej stali gatunku 55 jest większe niż stali 45, pomimo wyższej zawartości węgla (tab. 1). Przyczyną tego może być mniejsza twardość stali 55, która sprzyja intensyfikowaniu zużywania ściernego, a także pękaniu i wykruszaniu się warstwy tlenku wskutek plastycznego odkształcenia materiału podłoża [10].

4. WNIOSKI

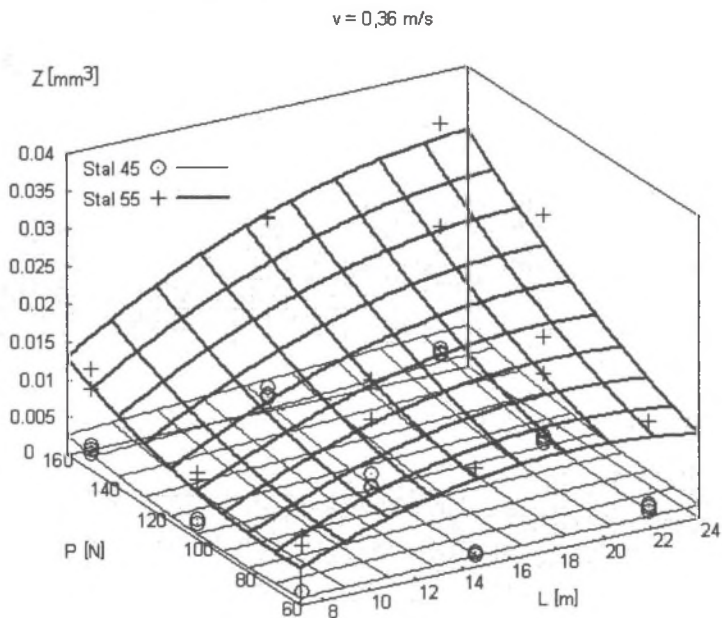
Analiza wyników badań przeprowadzonych w niniejszej pracy pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków dotyczących wpływu wybranych warunków współpracy na zużycie badanych stali średniwęglowych, gatunku 45 i 55:

1. Zużycie badanych stali zwiększa się przy podwyższeniu obciążenia i drogi tarcia.
2. Zwiększenie prędkości liniowej współpracujących elementów wywołuje zmniejszenie, a następnie, przy większym obciążeniu, ponowne podwyższenie zużycia. Zmniejszenie to może być wywołane pojawieniem się tlenków na współpracujących powierzchniach. Podwyższenie zużycia może powstawać wskutek intensyfikowania się procesu utleniania przy większej prędkości i nacisku.
3. W badanym zakresie wpływ twardości na zużycie przeważa nad wpływem zawartości węgla, tak że badana stal 45, o większej twardości, wykazywała mniejsze zużycie niż stal 55, o mniejszej twardości.



Rys. 7. Wpływ obciążenia i drogi tarcia na zużycie objętościowe stali 55, przy prędkości równej 0,36 i 0,49 m · s⁻¹

Fig. 7. The influence of load and sliding distance on wear volume of steel grade 55, for sliding speed of 0.36 and 0.49 m · s⁻¹



Rys. 8. Wpływ obciążenia i drogi tarcia na zużycie objętościowe stali 45 o twardości 250 HB i stali 55 o twardości 206 HB, przy prędkości równej 0,36 m · s⁻¹

Fig. 8. The influence of load and sliding distance on wear volume of steel grade 45 with hardness of 250 HB and steel grade 55 with hardness of 206 HB, for sliding speed of 0.36 m · s⁻¹

Literatura

1. Viáfara C.C, Castro M.I., Vélez J.M., Toro A.: Unlubricated sliding wear of pearlitic and bainitic steels. *Wear* 259 (2005), s. 405-411.
2. 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, s. 51-58.
3. Ki Myung Lee, Polycorpou A.A.: Wear of conventional pearlitic and improved bainitic steels. *Wear* 259 (2005), s. 391-399.
4. Witaszek M., Witaszek K.: Modellieren des Verschleißes von Eisenbahnrad- und Schienenstahl. *Tribologie und Schmierungstechnik* 5/2005, s. 25-29.
5. Deters L., Proksch M.: Friction and wear testing of rail and wheel material. *Wear* 258 (2005), s. 981-991.
6. Kulikowski H., Sorochtej M.: Badania zużycia materiałów na koła jezdne pojazdów szynowych. XII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe”, tom 2. Rydzyna 21-24.10.1996, s. 161-166.
7. Witaszek S.: Komputerowa metody pomiaru zużycia. II Studencka Sesja Naukowa, Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katowice, 04.06.2004.
8. Stoksik R.: Wpływ nacisku i prędkości na zużycie stali 45. Praca magisterska, Politechnika Śląska, Katedra Eksploatacji Pojazdów, Katowice 2006.
9. Lim S.C.: The relevance of wear - mechanism maps to mild – oxidational wear. *Tribology International* 35 (2002), s. 717-723.
10. Witaszek M., Witaszek K.: Zużycie w układzie koło – szyna bez i z obecnością efektów utleniania. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria: Transport*, z. 56 Gliwice, 2004, s. 53-60.

Recenzent: Dr hab. inż. Paweł Piec, prof. nzw. Politechniki Krakowskiej

Praca wykonana w ramach BW-418/RT1/2006