

Wojciech SAWCZUK

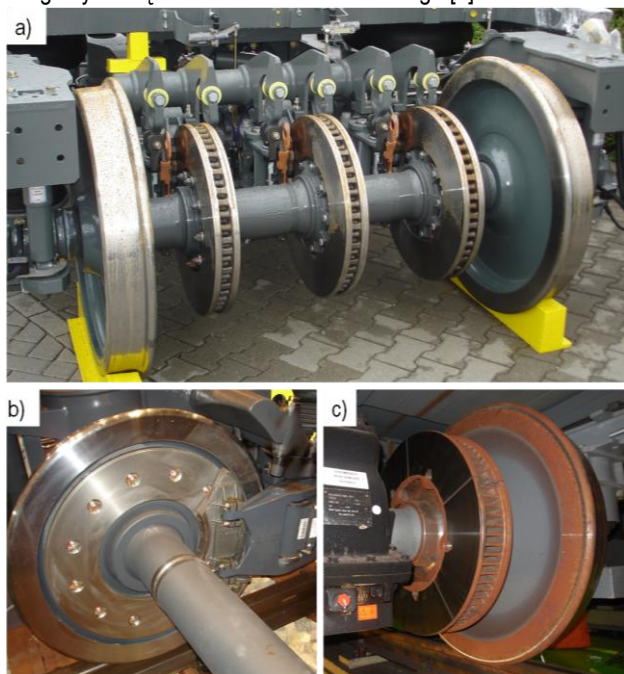
BADANIE WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA KOLEJOWEGO HAMULCA TARCZOWEGO

Streszczenie

Niezawodność działania układu hamulcowego danego pojazdu uzależniona jest w dużej mierze od współpracy elementów hamulcowych stanowiących parę tarczną np. tarcza hamulcowa-okładzina cierna. Niestabilność pracy wynika między innymi z wahań chwilowego współczynnika tarcia μ w konsekwencji na zmiany średniego współczynnika tarcia, co wpływa na obniżenie sprawności procesu hamowania. Celem artykułu jest ocena procesu hamowania w czasie hamowań zatrzymujących jak i ze stałą mocą w aspekcie wpływu zużycia okładzin ciernych na zmiany wybranych parametrów hamowania. W artykule przedstawiono wyniki badań porównawczych dla okładzin ciernych zużytych w różnym stopniu.

WSTĘP

Para cierna tarczowego układu hamulcowego odpowiedzialna jest za wytworzenia siły tarcia i przekazanie momentu hamującego na pojazd. Rysunek 1 przedstawia przykłady par ciernych hamulca tarczowego z tarczą zamocowaną na osi zestawu kołowego między kołami oraz z tarczą przykręconą do kół, co jest szczególnie dla wózków napędnych. Szczęka pary cierniej składa się z obsady, okładziny cierniej, sworzni pionowych i poziomych i podtrzymywana jest wieszakiem za pomocą przegubu sworzniowego. W dalszej części para cierna połączona jest dźwigniami (prawą i lewą) z siłownikiem pneumatycznym. Konstrukcja obsady musi umożliwić wymianę okładzin hamulcowych bez konieczności demontażu poszczególnych części mechanizmu zaciskowego [3].



Rys. 1. Widok kolejowego hamulca tarczowego zamocowanego: a) na osi tocznej zestawu kołowego, b) na kole zestawu kołowego, c) na osi napędnej zestawu kołowego

Szczęki hamulca tarczowego wykonuje się w różnych wielkościach w celu dostosowania ich do średnicy tarczy [4]. Zgodnie z zaleceniem karty UIC-541-3 powierzchnia cierna okładzin z tworzyw organicznych (na osnowie żywic) powinna wynosić 200 cm² dla tarcz o średnicy 640mm i 610mm, następnie 175cm² dla tarcz o

średnicy 590mm i 140 cm² dla tarcz o średnicy od 330mm do 440mm. Ponadto okładziny typu 140 mogą współpracować z tarczami wcześniej wspomnianymi lub mogą działać bezpośrednio na boczne powierzchnie kół [1]. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono okładziny hamulcowe zalecane przez UIC 541-3.

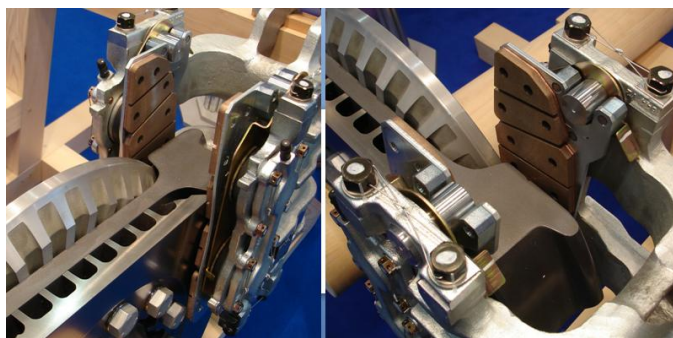


Rys. 2. Widok okładziny cierniej z materiału organicznego z widocznymi rowkami dylatacyjnymi



Rys. 3. Widok okładziny cierniej z materiału spiekanego

Para cierna powinna być tak dobrana, aby uzyskać w miarę możliwości stały przebieg współczynnika tarcia w funkcji prędkości o wartości średniej 0,35 [1]. Jednak w niekorzystnych warunkach atmosferycznych (duża wilgotność i niskie temperatury) wartość współczynnika tarcia może obniżyć się nawet o około 20-30% [6]. Okładzina hamulcowa ma za zadanie wyrównanie rozkładu rzeczywistych nacisków jednostkowych na powierzchni styku z tarczą hamulcową oraz polepszenie warunków odprowadzenia ciepła a tym samym obniżenie temperatury.



Rys. 4. Przekrój poprzeczny pary ciernej hamulca tarczowego

Para cierna hamulca jest tym urządzeniem, w którym następuje zamiana energii kinetycznej pociągu na energię ciepłą. Pracy pary ciernej towarzyszą bardzo wysokie temperatury dochodzące nawet do 300 C° a jednocześnie znaczne obciążenia cieplne elementów pary ciernej. Przyczynia się to do zakłócenia prawidłowego przebiegu procesu hamowania pociągu powodując takie ujemne skutki jak odkształcanie tarczy i rozkład tworzywa wykładziny ciernej. Pierwszy sposobem obniżenia temperatury jest stosowanie okładzin ze specjalnie ukształtowanymi rowkami dylatacyjnymi lub otworami, przez które następuje przepływ powietrza "odprowadzający" część ciepła powstałego podczas hamowania. Rowki te umożliwiają dodatkowo lepszy rozkład nacisków okładziny na tarczę hamulcową oraz pomagają w odprowadzeniu produktów zużycia [4]. Na rysunku 4 przedstawiono przekrój poprzeczny przez oprawę i okładzinę w celu pokazania kształtu rowka dylatacyjnego. Drugim sposobem przyspieszającym odprowadzenie ciepła jest stosowanie tarcz ze specjalnie ukształtowanymi kanałami wentylacyjnymi.

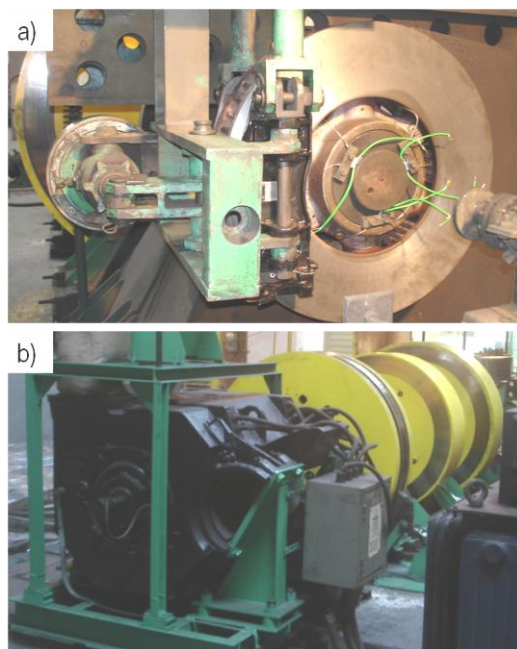
Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań pary ciernej hamulca tarczowego z okładzinami zużytymi w różnym stopniu względem okładzinach nowych w czasie symulowanych hamowań zatrzymujących oraz na spadku.

1. METODYKA BADAŃ STANOWISKOWYCH

Badania o charakterze ciernym (gdzie rejestrowano zmianę współczynnika tarcia oraz temperatury tarczy w czasie hamowania) przeprowadzone zostały w Instytucie Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu na bezwładnościowym stanowisku do badań hamulców klockowych i tarczowych pojazdów szynowych. Obiektem badań była tarcza hamulcowa typu 640×110 z wentylującymi łopatkami, co przedstawia rysunek 5 oraz komplety okładzin typu 200 FR20H.2 z materiału organicznego. Pierwszy komplet nowy o grubości 35mm oraz dwa komplety zużyte do grubości 25 i 15mm. W czasie badań przeprowadzono zarówno hamowania zatrzymujące jak i hamowania ze stałą mocą (na spadku). Hamowanie ze stałą mocą jest rodzajem symulowanego hamowania podczas zjazdu wagonu ze stałą prędkością. Jest to hamowanie, mające na celu odtworzenie podobnych warunków jak podczas zjazdu pociągu przez przełęcz Świętego Gotharda w Szwajcarii. Ze względu na stałą i stosunkowo niewielką prędkość wagonu, co przekłada się na utrudnioną wymianę ciepła z tarczy do otoczenia w krótkim czasie wynoszącym 10-20 minut dochodzi do maksymalnego cieplnego obciążenia hamulca.

Do badań wykorzystano program badawczy 2B1 (I) zgodnie z załącznikiem C.2 zawartym w Kodeksie UIC 541-3. Dla wspomnianego programu przeprowadzono hamowanie zatrzymujące oraz ze stałą mocą hamowania wynoszącą 55kW [1]. Hamowania zatrzymujące przeprowadzono z prędkości v=50, 80, 120, 160 i 200km/h. Natomiast symulowane hamowanie na spadku przeprowadzono z prędkości v=80km/h, nacisk okładziny na tarczę wyniósł N=28kN, całkowity symulowany czas zjazdu pociągu t=10min. Masa hamująca przypadająca na jedną tarczę wyniosła w czasie badań

M=4,7 i 6,7t. Pomiar temperatury tarczy hamulcowej przeprowadzono przy pomocy 6-ciu termopar zamocowanych do tarczy hamulcowej zgodnie z [5]. Badanie na stanowisku hamulcowym wykonano zgodnie z założeniami eksperymentu czynnego opisanego w [2].



Rys. 5. Obiekt badań na stanowisku hamulcowym kolejowego hamulca tarczowego: a) tarcza hamulcowa typu 640×110 z zamocowanym kompletem okładzin ciernych typu 200, b) widok na część napędową stanowiska hamulcowego z masami wirującymi

Podczas badań na stanowisku bezwładnościowym rejestrowano chwilowy współczynnik tarcia μ_a , w każdej chwili hamowania zgodnie z zależnością (1) [1]:

$$\mu_a = \frac{F_t}{F_b} \quad (1)$$

gdzie: F_t – chwilowa siła styczna odniesiona do promienia hamowania r ,

F_b – całkowita chwilowa siła nacisku na tarczę hamulcową.

Następnie obliczany był średni współczynnik tarcia μ_m , wyznaczony z całki oznaczonej chwilowego współczynnika tarcia po drodze hamowania s_2 zgodnie z równaniem (2) [1]:

$$\mu_m = \frac{1}{s_2} \int_0^{s_2} \mu_a ds \quad (2)$$

gdzie: s_2 – droga hamowania w metrach.

Na podstawie zależności (1) oraz (2) wyznaczane zostały charakterystyki $\mu_a=f(t)$ oraz $\mu_m=f(v)$. Podczas badań stanowiskowych hamulca kolejowego rejestruje się przebieg chwilowego współczynnika tarcia w czasie hamowania od zadanej prędkości hamowania aż do zatrzymania. Na tej podstawie określa się chwilę osiągnięcia wartości maksymalnej oraz minimalnej chwilowego współczynnika tarcia. Przebiegi otrzymane z zależności (2) stanowią końcowe zestawienia sprawdzające zachowanie się współczynnika tarcia w całym zakresie prędkości hamowania danego pojazdu.

Hamowania ze stałą mocą opisane jest zależnością (3):

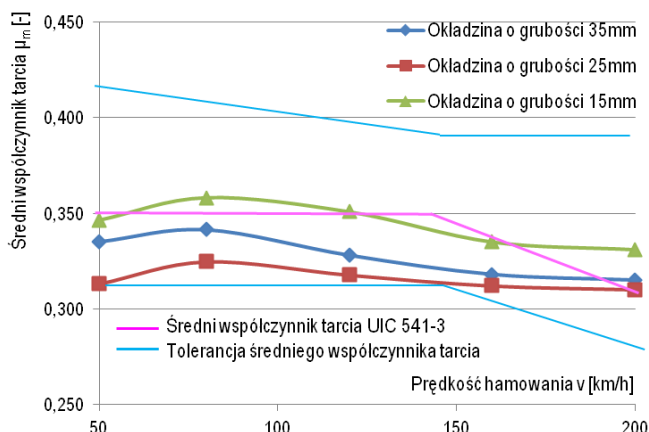
$$N = \frac{d\mu_a}{dt} \cdot \frac{dF_b}{dt} \cdot n \quad (3)$$

$$n = \frac{v}{\Pi d} \quad (4)$$

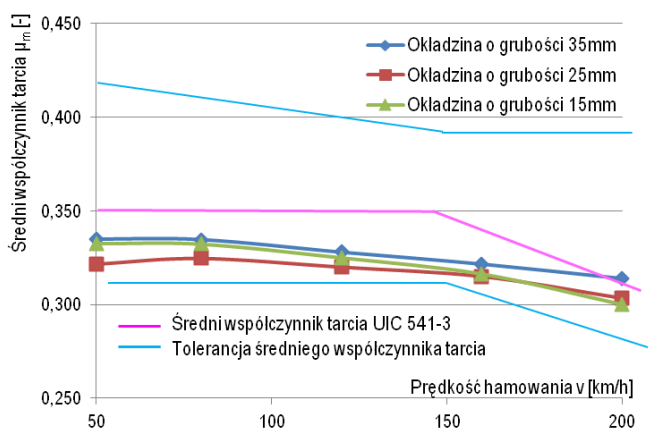
gdzie: n – prędkość obrotowa w obrotach na sekundę,
 v – prędkość zjazdu pojazdu w metrach na sekundę,
 d – promień w okręgu tocznym w metrach.

2. WYNIKI BADAŃ

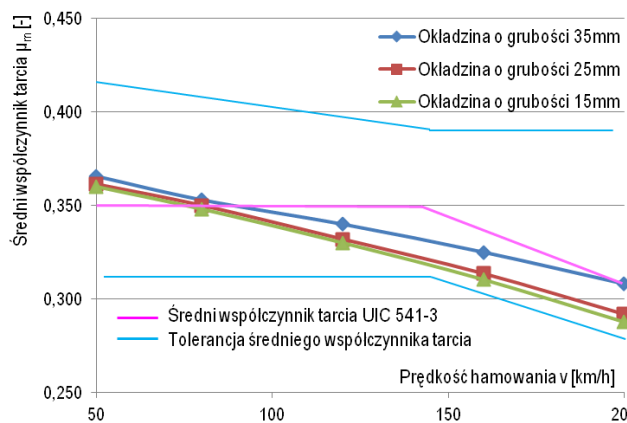
Wyniki z badań stanowiących średniego współczynnika tarcia dla trzech analizowanych grubości okładzin ciernych przy hamowaniu z naciskiem $N=16, 26, 28$ i 40kN z masami do wyhamowania $M=4,7$ i $6,7\text{t}$, przedstawiono na rysunkach 6-9. Zmiany średniego współczynnika tarcia uzyskanego z zależności (2) zestawiono dla następujących prędkości początku hamowania tj. $v=50, 80, 120, 160$ i 200km/h . Dodatkowo na wykresach przedstawiono tolerancję średniego współczynnika oraz średni współczynnik tarcia zgodnie z UIC 541-3.



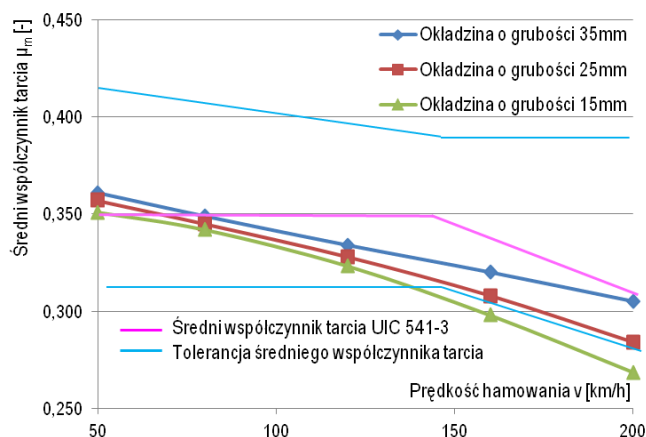
Rys. 6. Przebieg średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania przy hamowaniu z naciskiem $N=16\text{kN}$ z masą do wyhamowania $M=4,7\text{t}$



Rys. 7. Przebieg średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania przy hamowaniu z naciskiem $N=26\text{kN}$ z masą do wyhamowania $M=4,7\text{t}$

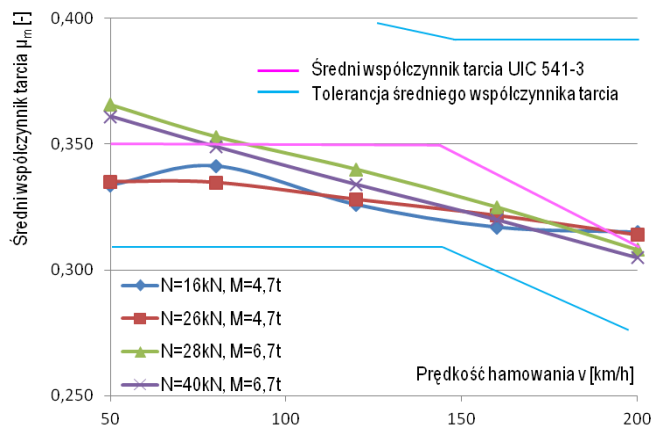


Rys. 8. Przebieg średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania przy hamowaniu z naciskiem $N=28\text{kN}$ z masą do wyhamowania $M=6,7\text{t}$

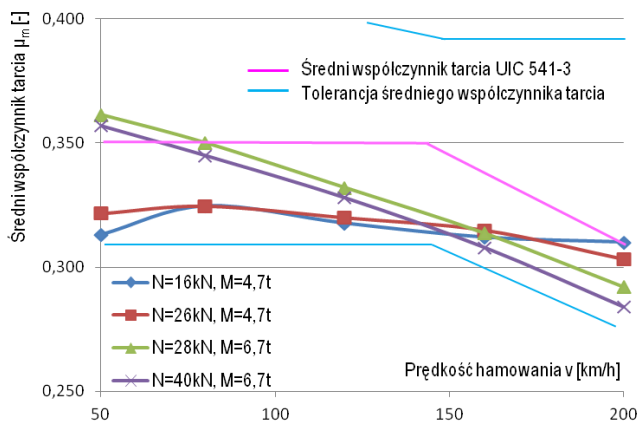


Rys. 9. Przebieg średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania przy hamowaniu z naciskiem $N=40\text{kN}$ z masą do wyhamowania $M=6,7\text{t}$

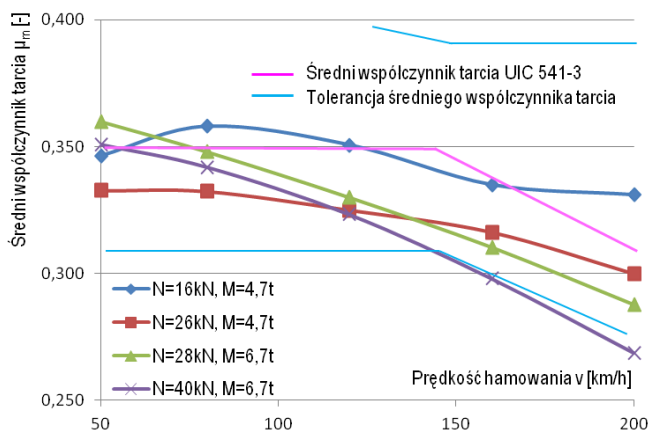
Na rysunkach 10-12 przedstawiono zmiany średniego współczynnika tarcia dla danej grubości okładziny cierniej (jej zużycia) w celu określenia wpływu takich parametrów hamowania jak nacisk okładziny do tarczy, masa do wyhamowania przez jedną tarczę hamulcową oraz prędkość hamowania na przebieg μ_m .



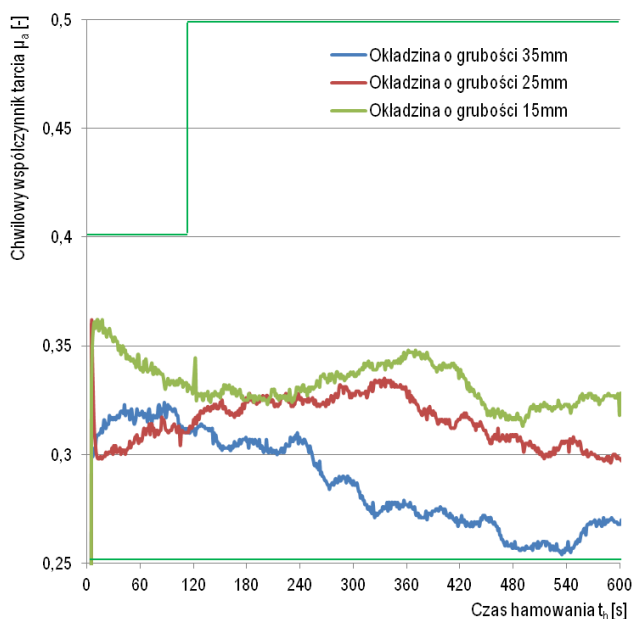
Rys. 10. Przebieg średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania dla okładziny o grubości 35mm (okładzina nowa) przy hamowaniu z różnym naciskiem i masą do wyhamowania



Rys. 11. Przebieg średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania dla okładziny o grubości 25mm (okładzina zużyta) przy hamowaniu z różnym naciskiem i masą do wyhamowania



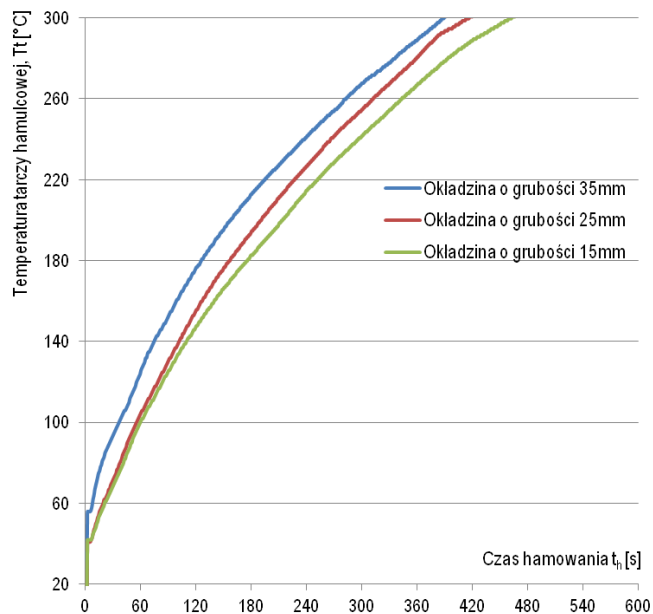
Rys. 12. Przebieg średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania dla okładziny o grubości 15mm (okładzina zużyta) przy hamowaniu z różnym naciskiem i masą do wyhamowania



Rys. 13. Przebieg chwilowego współczynnika tarcia w funkcji czasu hamowania dla trzech kompletów okładzin ciernych

Na rysunku 13 przedstawiono przebiegi chwilowego współczynnika tarcia w czasie hamowań na trzech kompletach okładzin (pierwszy nowy oraz dwa zużyte do grubości 25

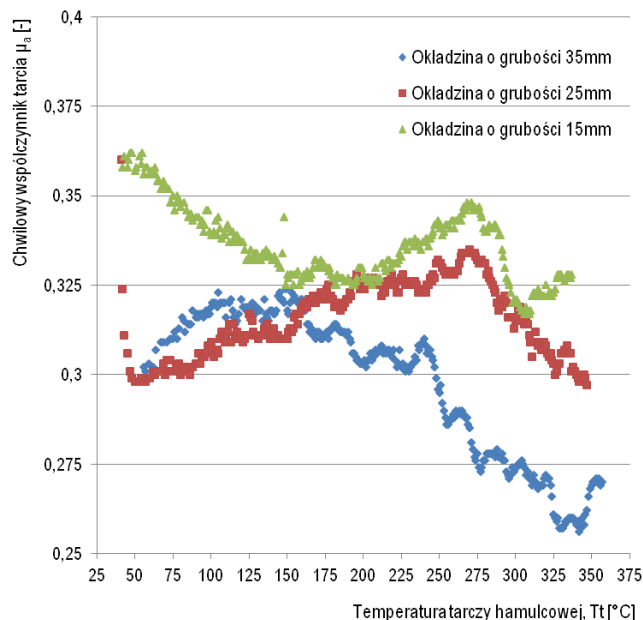
i 15mm) symulujących zjazd pociągu przez przełęcz Świętego Gotharda. Dodatkowo na rysunku 14 przedstawiono zmiany temperatury tarczy hamulcowej w czasie hamowania na spadku z zastosowaniem okładzin ciernych o różnej grubości.



Rys. 14. Charakterystyka przyrostu temperatury tarczy hamulcowej w funkcji czasu hamowania, dla symulowanego hamowania na spadku

Zgodnie z kartą UIC, hamowanie długotrwałe należy przerwać jeżeli średnia temperatura tarczy (mierzona z 6-ciu termopar zamocowanych na pierścieniu ciernym) osiągnie 375°C.

Na rysunku 15 przedstawiono zależność chwilowego współczynnika tarcia w funkcji temperatury tarczy w czasie hamowania.



Rys. 15. Przebieg chwilowego współczynnika tarcia w funkcji temperatury tarczy hamulcowej

Charakterystyka zmian chwilowego współczynnika tarcia w funkcji temperatury nie jest wymagana kartą UIC jednak tworzona jest przez producentów okładzin ciernych. Tego typu zależność pozwala wyciągnąć podwójne wnioski na temat współpracy okładziny względem tarczy zarówno w aspekcie stabilności czasowej oraz termicznej materiału ciernego ze względu na wykorzystanie dwóch

charakterystyk tj. chwilowego współczynnika tarcia oraz temperatury tarczy w funkcji czasu hamowania.

PODSUMOWANIE

Analizując wyniki badań na stanowisku hamulcowym kolejowego hamulca tarczowego w czasie hamowań zarówno zatrzymujących jak i ze stałą mocą można stwierdzić, że:

- 1) Zużycie okładzin ciernych wpływa na obniżenie średniego współczynnika tarcia w całym zakresie prędkości hamowania dla wszystkich rozpatrywanych kombinacji nacisku okładziny do tarczy i masy do wyhamowania.
- 2) Hamowania zatrzymujące dla małych wartości mas hamujących (symulacja wagonu próżnego) dla rozpatrywanego materiału ciernego powoduje stabilny przebieg średniego współczynnika tarcia dla rozpatrywanych prędkości hamowania.
- 3) Większe wartości nacisku okładziny do tarczy oraz masy do wyhamowania (wagon ładowny) dla badanego materiału ciernego z tworzywa organicznego wpływa na obniżenie średniego współczynnika tarcia przy wyższych prędkościach hamowania.
- 4) W przypadku hamowań zatrzymujących z zastosowaniem okładzin zużytych do grubości 15mm przy nacisku okładziny do tarczy $N=40kN$ i masie do wyhamowania $M=6,7t$ od prędkości hamowania $v=160km/h$ stwierdza się obniżenie średniego współczynnika tarcia poniżej dolnej granicy tolerancji średniego współczynnika zgodnie z kartą UIC 541-3.
- 5) Na obniżenie współczynnika tarcia poniżej średniej wartości zgodnie z kartą UIC 541-3 w przypadku przeprowadzonych wszystkich hamowań zatrzymujących, może mieć wpływ stan powierzchni tarczy. Do badań zastosowano tarczę regenerowaną po przetoczeniu pierścienia ciernego, co wpłynęło na zmniejszenie jej pojemności cieplnej.
- 6) Hamowania ze stałą mocą (symulacja zjazdu na spadku) dowiodły, że zużycie okładzin ciernych powoduje wyższy przebieg chwilowego współczynnika tarcia w czasie hamowania trwającego 10 minut względem hamowań na nowych okładzinach ciernych. Prawdopodobnie związane jest to właściwościami materiału organicznego, które przy zmianie grubości okładziny lepiej oddaje zgromadzone ciepło w wyniku przewodzenia od styku z tarczą hamulcową przez okładzinę na obsadę hamulcową. Dowiodły o tym, przeprowadzone równoległe z badaniami ciernymi na stanowisku hamulcowym – badania termowizyjne.
- 7) Temperatura tarczy hamulcowej w przypadku hamowań ze stałą mocą na okładzinach zużytych również jest niższa względem hamowań na okładzinie nowej. Okładzina zużyta do grubości 15mm wpływa na wyższy przebieg chwilowego współczynnika tarcia w funkcji temperatury tarczy hamulcowej.

Projekt jest finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, program LIDER V, umowa nr LIDER/022/359/L-5/13/NCBR/2014

BIBLIOGRAFIA

- 1 Karta UIC 541-3, *Hamulec: hamulec tarczowy i okładziny hamulcowe, warunki ogólne dla prób na stanowisku badawczym*, Wydanie 6-te listopad 2006.
- 2 Leszek W., *Badania empiryczne, Studia i rozprawy* – Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 1977.
- 3 Orlik A., *Hamulce pociągów kolejowych*. WŁK, W-wa 1978.

- 4 Piechowiak T., *Hamulce pojazdów szynowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012.
- 5 Polska Norma PN-K-88177, *Tabor kolejowy, hamulec – wymagania i metody badań*, Warszawa 1998.
- 6 Sorochtej M., *Hamulec tarczowy pojazdów szynowych*. Przegląd kolejowy 6/93.

COEFFICIENT OF FRICTION RE-SEARCH OF DISC BRAKE OF RAIL VEHICLE

Abstract

The reliability of the operation of the braking system of the rail vehicle depends to a large extent on the cooperation of the brake components forming a pair of friction e.g. brake disc-friction pad. Work instability arises by the occurrence of instantaneous changes to the coefficient of friction and average coefficient of friction, which affects the lower efficiency of the braking process. In practice, this means that, during braking the vehicles currently alternative at a time of friction resistance may cause uneven braking process. The aim of the article is to evaluate the braking process during braking and stopping with constant power in terms of the effect of wear on the friction pads on altering parameters of braking. The article presents the results of comparative tests for the friction pads used in different wear.

Autorzy:

Dr inż. **Wojciech Sawczuk** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Pojazdów Szynowych, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, Tel. 61 665-2023, Fax. 61 665-2204, e-mail: wojciech.sawczuk@!put.poznan.pl