

Kazimierz FURMANIK^{*}, Paweł PYTKO^{*}, Jan MATYGA^{}**

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI CIERNYCH WYBRANYCH TWORZYW POLIURETANOWYCH STOSOWANYCH W NAPĘDACH KOLEJEK SZYNOWYCH

INVESTIGATIONS OF FRICTION PROPERTIES OF SELECTED POLYURETHANE MATERIALS USED IN DRIVE WHEELS OF RAILWAYS

Słowa kluczowe:

tarcie, badania, zużycie

Key words:

friction, investigations, wear

Streszczenie

Istotną rolę w dostawach maszyn, urządzeń oraz ludzi do ścian węglowych spełniają kolejki podwieszane i naspodkowe z napędami ciernymi. Ich możliwości transportowe limituje sprzężenie cierne kół napędowych

^{*} Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30; 30-059 Kraków, tel. (12) 617 30 72; e-mail: fukaz@agh.edu.pl.

^{**} Gasket sp z o.o., ul. Wypoczynkowa 10, 43-382 Bielsko-Biała, tel. (33) 827 22 05.

z szynami. Dlatego podstawowe znaczenie w eksploatacji tych kolejek mają dobre własności cierne tworzyw stosowanych na okładziny kół napędowych. W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych współczynnika tarcia oraz zużycia wybranych tworzyw poliuretanowych, które są stosowane na okładziny kół napędowych w kolejkach.

WPROWADZENIE

W podziemnym górnictwie węglowym dostawy maszyn, urządzeń oraz ludzi do wysokowydajnych ścian są realizowane głównie za pomocą kolejek podwieszanych i naspodkowych z napędami ciernymi (**Rys. 1**). Sprzężenie cierne kół napędowych z szynami w tych kolejkach limituje ich możliwości transportowe, zwłaszcza na torach o zwiększonych nachyleniach [**L. 1, 2, 5–8**]. Podstawowe znaczenie w eksploatacji tych kolejek mają własności cierne tworzyw stosowanych na okładziny kół napędowych.



Rys. 1. Widok kolejki podwieszanej z napędem ciernym

Fig. 1. View of suspended monorail with friction drives

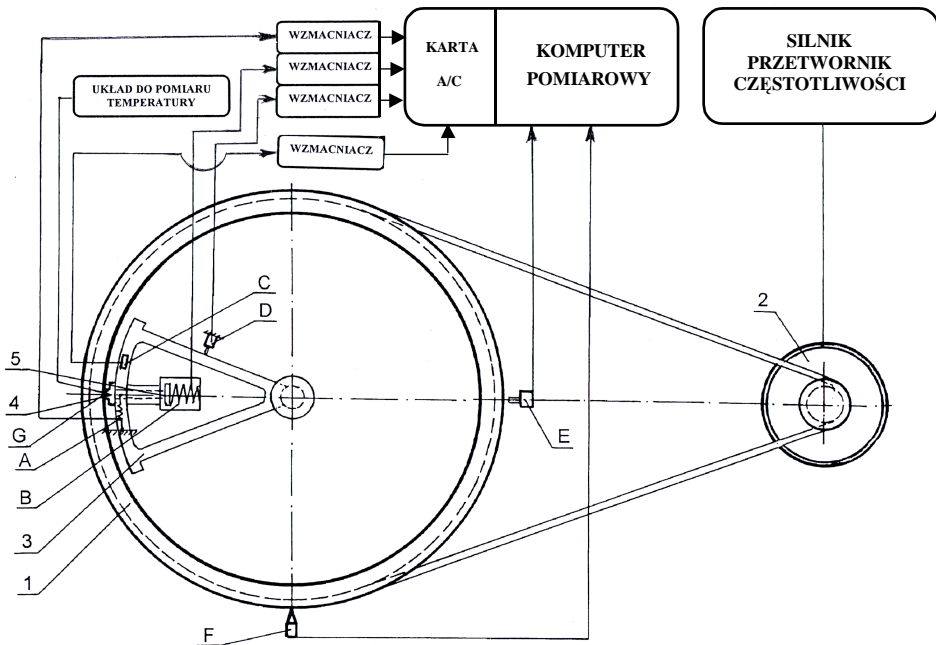
Wśród różnorodnych materiałów stosowanych na okładziny kół napędowych coraz szersze zastosowanie znajdują tworzywa poliuretanowe [**L. 4**].

W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych współczynnika tarcia oraz zużycia wybranych tworzyw poliuretanowych, które są obecnie stosowane na okładziny kół napędowych w kolejkach.

STANOWISKO BADAWCZE, PLAN I WYNIKI BADAŃ

Badania doświadczalne przeprowadzono na stanowisku, którego schemat przedstawiono na **Rys. 2**, a widok jego fragmentów – na **Rys. 3**.

Bęben 1 napędza silnik 2 o regulowanym napięciu zasilania, co zapewnia uzyskanie bezstopniowej zmiany prędkości jego ruchu w szerokim zakresie (**Rys. 2**). Segment łukowy 3 łączy z ramą stanowiska płaski element sprężysty „A” (z naklejonymi tensometrami), który umożliwia pomiar sił i przemieszczeń obwodowych. Sterowanie siłą nacisku elementu ciernego 4 na bęben zapewnia mechanizm śrubowy 5, a płaska sprężyna „B” (na której są naklejone tensometry) umożliwia pomiar tej siły. Pomiar przyspieszenia segmentu łukowego umożliwia piezoelektryczny akcelerometr „C”, a prędkości obwodowej – indukcyjny



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego stanowiska

Fig. 2. Schema of measurements system

czujnik prędkości „D”. Prędkość obrotową bębna mierzono wykorzystując tachometryczny czujnik „E”, a liczbę obrotów bębna – za pomocą czujnika „F”. Czujnik do pomiaru temperatury (termopara) „G” jest połączony z elementem ciernym.

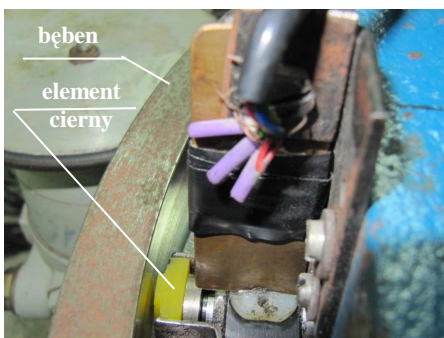
Sygnaly pomiarowe po odpowiednim wzmacnieniu były rejestrowane przez komputer pomiarowy. Przy ustalonych wartościach wstępnej siły nacisku i temperatury elementu ciernego oraz prędkości obrotowej bębna prowadzono rejestrację sygnałów pomiarowych. Wyniki tych pomiarów dla badanych skojarzeń ciernych i przyjętych wartości wielkości sterujących były podstawą do wyznaczenia charakterystyk tarcia oraz zużycia badanych elementów ciernych.

W badaniach tych, realizowanych według przyjętego planu [L. 3], uwzględniono różne skojarzenia materiałowe par ciernych: bęben (stalowy) – element cierny (z tworzywa), przy stopniowanej sile nacisku elementu ciernego na bęben $10 \div 50$ [N] oraz prędkości obwodowej (na powierzchni tarcia) bębna $0,66 \div 5,95$ [m/s]. Na **Rys. 4** podano schemat realizowanego planu badań własności ciernych wybranych tworzyw.

a)



b)

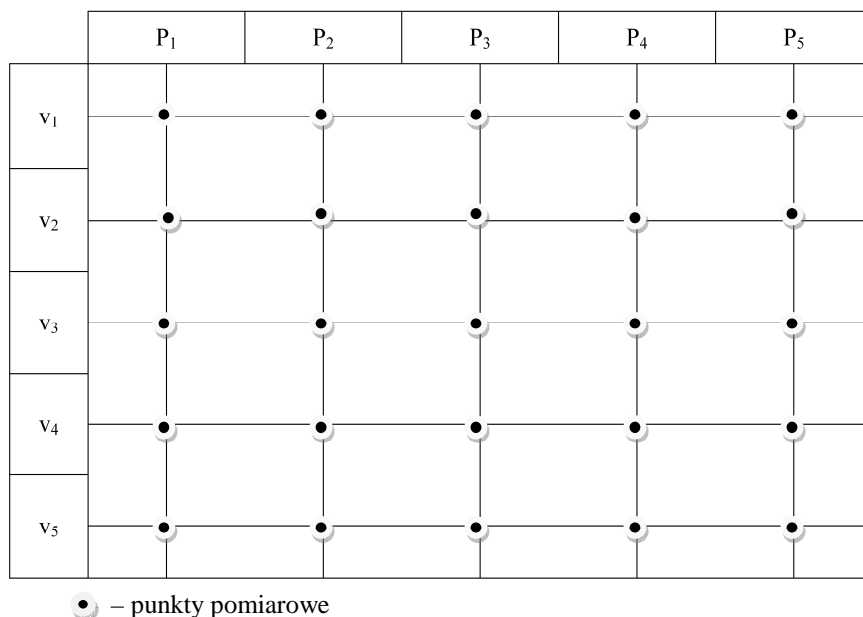


c)



Rys. 3. Widok fragmentów stanowiska badawczego: a) tachoprądnica; b) element cierny; c) układ pomiarowy

Fig. 3. View of parts investigation stand: a) tachometric; b) friction element; c) measuring system



Rys. 4. Schemat planu badań

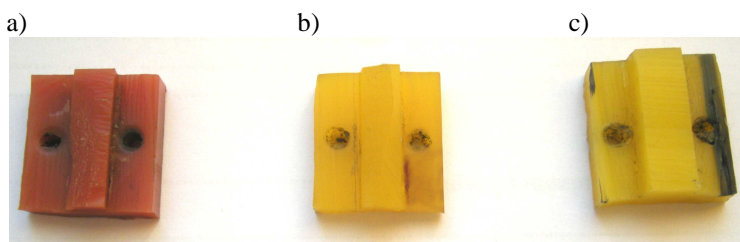
Fig. 4. Schema of investigations plan

Wartości czynników sterowanych wynosiły odpowiednio:

– siły nacisku: $P = P_1 \div P_5 = 10 - 20 - 30 - 40 - 50$ N,

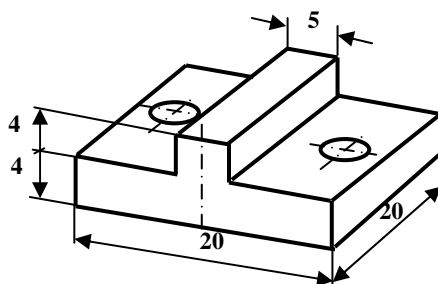
– prędkości liniowych: $v = v_1 \div v_5 = 0,66 - 1,98 - 3,30 - 4,63 - 5,95$ m/s.

Wymiary próbek badanych tworzyw umożliwiały właściwe ich mocowanie oraz kontakt z bębnum na nominalnej powierzchni tarcia wynoszącej 1 cm^2 . Widok i wymiary próbek tych tworzyw przedstawiono na **Rysunkach 5 i 6**.



Rys. 5. Widok próbek poliuretanowych: a) – ShA 80 TYP B, b) – ShA 85 TYP B, c) – DGC II TYP B95

Fig. 5. View of polyurethane samples: a) – ShA 80 TYP B, b) – ShA 85 TYP B, c) – DGC II TYP B95



Rys. 6. Wymiary próbki

Fig. 6. Dimensions of a sample

Próbki te poddano badaniom laboratoryjnym na wyżej przedstawionym stanowisku dla wyznaczenia charakterystyk tarcia oraz zużycia.

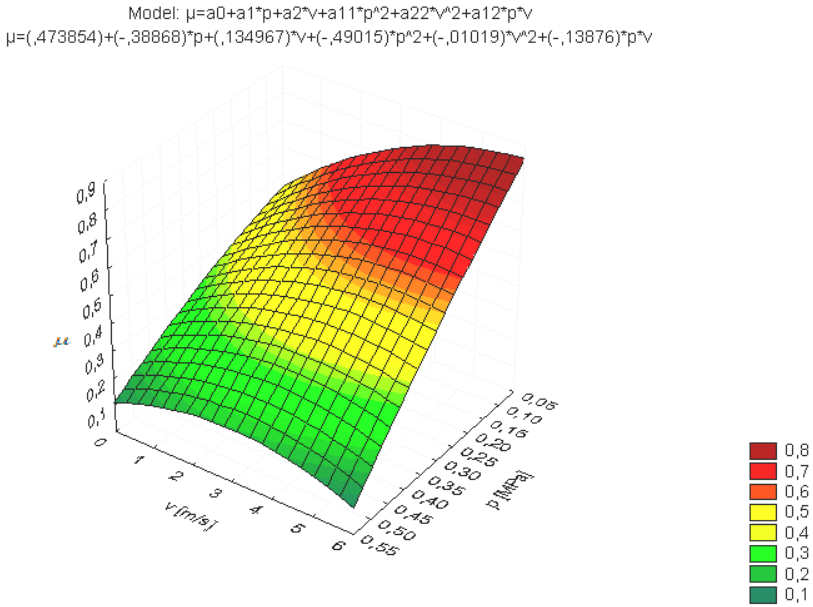
WYZNACZENIE CHARAKTERYSTYK TARCIA

Według przyjętego planu badań przeprowadzono pomiary sił tarcia przy pięciu wartościach siły nacisku i prędkości ślizgania dla trzech próbek badanych tworzyw oraz trzykrotnych powtórzeniach każdego z pomiarów. W oparciu o uśrednione wartości wyników tych pomiarów wyznaczono charakterystyki (modele) tarcia dla badanych tworzyw, opisując je funkcją postaci:

$$\mu = a_0 + a_1 p + a_2 v + a_{11} p^2 + a_{22} v^2 + a_{12} p v \quad (1)$$

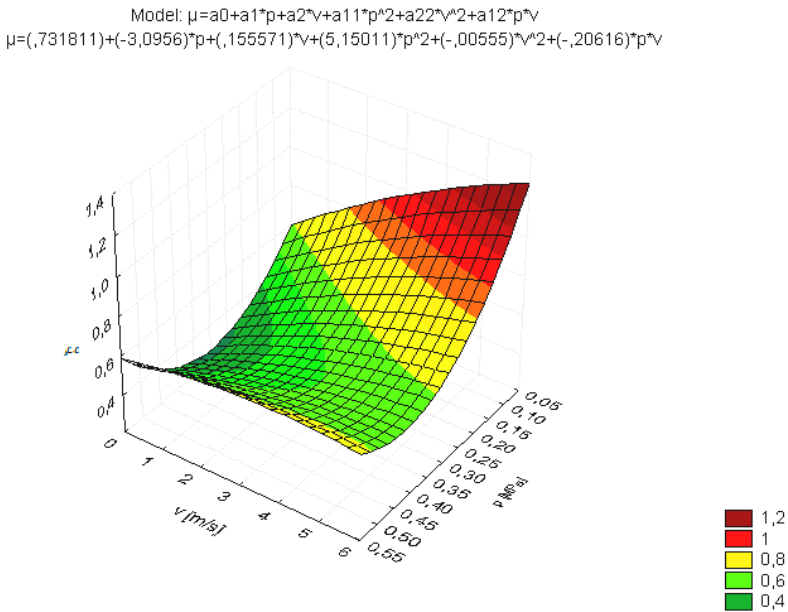
gdzie stałe: a_0 [-], a_1 [1/MPa], a_2 [s/m], a_{11} [1/MPa²], a_{22} [s²/m²],
 a_{12} [s/m·MPa],
 p – nacisk jednostkowy, MPa,
 v – prędkość ślizgania, m/s.

przy czym wartości stałych współczynników a_0, a_1, \dots, a_{22} wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów. Otrzymane charakterystyki tarcia przedstawiono na **Rysunkach 7–9**.



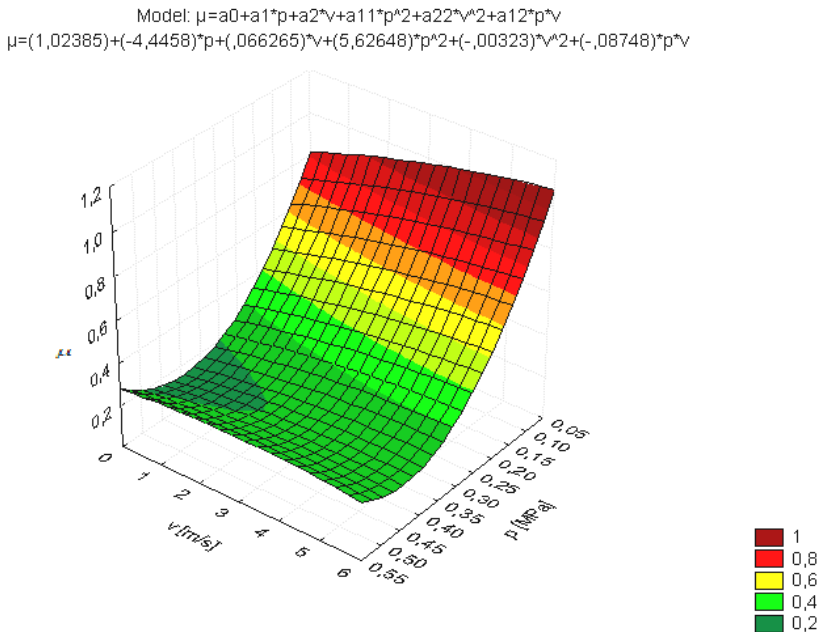
Rys. 7. Wykres zależności $\mu = \mu(p, v)$ dla próbki ShA 80 TYP B

Fig. 7. Graph of dependences $\mu = \mu(p, v)$ for sample ShA 80 TYP B



Rys. 8. Wykres zależności $\mu = \mu(p, v)$ dla próbki ShA 85 TYP B

Fig. 8. Graph of dependences $\mu = \mu(p, v)$ for sample ShA 85 TYP B



Rys. 9. Wykres zależności $\mu = \mu(p, v)$ dla próbki DGC II B95

Fig. 9. Graph of dependences $\mu = \mu(p, v)$ for sample DGC II B95

Z otrzymanych wykresów wynika, że dla badanych tworzyw wartość współczynnika tarcia generalnie maleje ze wzrostem nacisku jednostkowego, natomiast ze wzrostem prędkości poślizgu wpływ ten nie jest jednoznaczny; istnieje zakres prędkości, w którym wartość współczynnika tarcia wzrasta, przy pewnej wartości tej prędkości osiąga on wartość największą, a następnie maleje. Dla badanych tworzyw w przyjętym zakresie zmian wartości czynników sterowanych największe wartości współczynnika tarcia osiąga się przy najmniejszych naciskach jednostkowych i największej prędkości poślizgu.

BADANIA ZUŻYCIA

Dla uzyskania mierzalnego zużycia (masowego) próbek badanych tworzyw każdą z nich poddano procesowi tarcia przy maksymalnej sile nacisku $P_5 = 50$ N i prędkości $v_5 = 5,95$ m/s w czasie $t = 30$ minut. Badania wszystkich trzech próbek rozpoczynały się i kończyły na pomiarze ich mas z dokładnością do setnej części grama. Podczas badania zużycia na komputerze były rejestrowane wartości siły nacisku próbki na bęben

i prędkości ślizgania. Uzyskane z badań zużycia wyniki pomiarów zostały uśrednione i przedstawione graficznie na **Rys. 10**.

Dla porównawczej oceny zużycia badanych tworzyw przyjęto *współczynnik zużycia* k_z , który jest ilorazem masowego zużycia próbki Δm do wykonanej pracy sił tarcia L_t :

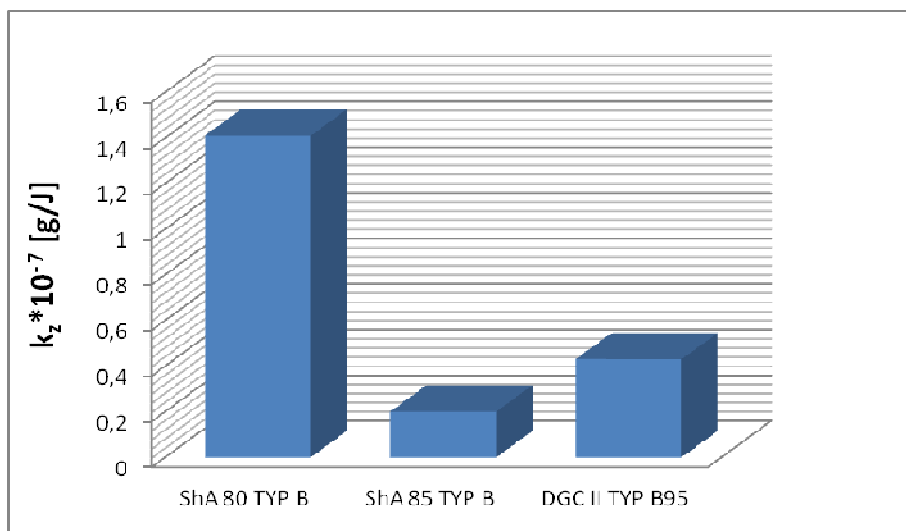
$$k_z = \frac{\Delta m}{L_t} = \frac{\Delta m}{\mu \cdot P_s \cdot v_s \cdot t} \quad [\text{g/J}] \quad (2)$$

gdzie czas tarcia próbki: $t = 30 \cdot 60 = 1800$ s, a którego wartości zestawiono w **Tabeli 1** oraz przedstawiono na **Rys. 10** (maksymalny błąd względny oszacowany metodą różniczki zupełnej wynosi 4,3%).

Tabela 1. Wartości współczynnika zużycia k_z dla badanych tworzyw

Table 1. Values of wear coefficient k_z for investigated materials

Nazwa tworzywa	ShA 80 TYP B	ShA 85 TYP B	DGC II TYP B95
k_z [g/J]	$1,41 \cdot 10^{-7}$	$0,2 \cdot 10^{-7}$	$0,43 \cdot 10^{-7}$



Rys. 10. Wartości współczynnika zużycia k_z dla badanych tworzyw

Fig. 10. Values of wear coefficient k_z for examined materials

Na podstawie uzyskanych z pomiarów wyników można stwierdzić, że badane tworzywa cierne charakteryzują się dużą odpornością na zużycie. Przy próbkach typu ShA 85 TYP B oraz DGC II TYP B95 w procesie tarcia ujawniły się efekty akustyczne, które po pewnym czasie zanikały. Największą odporność na zużycie wykazuje tworzywo ShA 85 TYP B, a najmniejszą – ShA 80 TYP B. Biorąc pod uwagę pożądane dobre właściwości cierne badanych tworzyw, tj. wysoką wartość współczynnika tarcia i niskie zużycie, można je uszeregować następująco:

1. ShA 85 TYP B,
2. DGC II TYP B95,
3. ShA 80 TYP B.

Ostatnie tworzywo w porównaniu z pierwszym wykazuje siedmiokrotnie większe zużycie.

WNIOSKI KOŃCOWE

Uzyskane z przeprowadzonych pomiarów wyniki i ich analiza pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- 1) dla badanych tworzyw wpływ podstawowych parametrów eksploatacyjnych, tj. siły nacisku i prędkości ślizgania na współczynnik tarcia jest istotny i złożony; istnieją wartości prędkości poślizgu, przy których współczynnik tarcia osiąga wartość maksymalną, a także naciski, przy których współczynnik tarcia osiąga wartość minimalną;
- 2) wartości współczynnika tarcia, odpowiadające badanym tworzywom przy określonych wartościach siły nacisku i prędkości ślizgania, można obliczyć ze wzorów podanych na **Rysunkach 7–9**;
- 3) zużycie badanych tworzyw jest zróżnicowane (**Rys. 10**) oraz stosunkowo małe; pod względem odporności na zużycie tworzywa te można uszeregować następująco:
 - ShA 85 TYP B (wykazuje największą odporność),
 - DGC II TYP B95,
 - ShA 80 TYP B (wykazuje najmniejszą odporność).

Otrzymane z badań wyniki wskazują, że tworzywa te mogą być przydatne w napędach ciernych kolejek szynowych.

LITERATURA

1. Antoniak J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice 1990.
2. Hebda M.: Procesy tarcia, smarowania i zużywania maszyn. PWN, Warszawa 2007.
3. Korzyński M.: Metodyka eksperymentu. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
4. Matyga J.: Dobór wysokojakościowego elastomeru poliuretanowego do produkcji i regeneracji ekstremalnie obciążonych okładzin kół pędnych dla górniczych kolejek podwieszanych. Transport Przemysłowy, 2009.
5. Piszczek M., Wosik M.: Badania zużycia i własności ciernych wybranych tworzyw poliuretanowych. Praca niepublikowana, 2010.
6. Пытко С. Фурманик К.: Применение метода анализа размерности к исследованию изнашивания и адгезии в контакте колесо-рельс (Application of dimensional analysis to study of wear and adhesion in rail-wheel pair). Трение и износ. Том 29, Nr 4, s. 415-420, 2008.
7. Rymuza Z., Pytko S.: Some tribological problems encountered on micro/nanoscale. Proc. Conferens Australientrib. Perth-Australien 2002.
8. Solski P., Zięba S.: Zagadnienia zużycia elementów maszyn spowodowanego tarciem. PWN, Warszawa 1969.

Recenzent:
Zbigniew PAWELEC

Summary

Suspended monorails and floor railways with friction drives play essential role in supply of machines, installations and menriding to faces. Their transport possibilities are limited by friction between the wheels and rails. That is why good friction properties of materials used for the linings of drive wheels are of special importance in railway exploitation. In the paper, the results of laboratory tests concerning the friction coefficient and wear of selected polyurethane materials used in linings of drive wheels in railways are presented.

