

Jerzy Antoniak
Henryk Kostrzewa

BADANIA OPORU TOCZENIA KRĄŻNIKA PO TAŚMIE PRZENOŚNIKOWEJ
Z UWZGLĘDNIENIEM TEMPERATURY

Streszczenie. W artykule przedstawiono budowę stanowiska doświadczalnego i wyniki badań potwierdzające istotny wpływ temperatury na wielkość oporu toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej.

Wstęp

Przenośniki taśmowe są coraz częściej stosowane w kopalnianym transporcie głównym, za czym przemawiają racje techniczne i ekonomiczne. Tej tendencji towarzyszy systematyczne podnoszenie parametrów technicznych przenośników taśmowych, a w szczególności: zwiększenie mocy napędów, szerokości taśmy, długości przenośników i prędkości ruchu taśmy. Przykładem tego mogą być przenośniki typu "Gwarek" konstrukcji ZKMPW-Gliwice, a także ich wdrożenia w technologię transportu kopalń: "Zofiówka", "Borynia", "Pniówek". Właściwe zaprojektowanie przenośnika, a następnie jego eksploatacja wymagają głębokiego poznania szeregu zjawisk fizycznych i mechanicznych z których najliczniejsza grupa jest związana z tarciem taśmy przenośnikowej po krążnikach zestawów podtrzymujących.

Przesłanki badań eksperymentalnych oporu toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej z uwzględnieniem temperatury

Opór toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej należy do tzw. głównych oporów ruchu przenośnika taśmowego. Opór ten, obok oporu obracania krążników w przypadku długich przenośników, stanowi zasadniczy czynnik determinujący zapotrzebowanie siły obwodowej na bębnie napędowym przenośnika taśmowego.

Użyte w tym artykule określenie oporu toczenia ma nieco odmienną interpretację kinematyczną aniżeli przyjętą w mechanice klasycznej, gdzie przez toczenie rozumie się ruch złożony z postępowego z prędkością v i obrotowego około osi z prędkością $\omega = v/R$, przy czym oba ruchy dotyczą jednego ciała, natomiast drugie pozostaje w spoczynku. W przenośniku taśma ma ruch postępowy, natomiast krążnik tylko ruch obrotowy, a elementem napędzającym jest taśma, która przenosi siły wzdłużne.

Przyczyną oporu ruchu występującego podczas toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej są odkształcenia taśmy o własnościach reologicznych [6], [8], [9]. Bieżnik taśmy wykonany jest najczęściej z gumy, która jako polimer usieciowiony – pod względem reologicznym – jest kombinacją ciała idealnie sprężystego (Hooke'a) i lepkiego (Newtona). Ciało takie charakteryzuje się histerezą sprężystą. Toczony po powierzchni takiego ciała twardego wałek wywołuje odkształcenia, po których następuje powrót sprężysty. Siła potrzebna do utrzymania walca w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest związana ze stratami sprężystymi w ciele lepko-sprężystym.

Na obecnym etapie prac teoretyczno-badawczych opór toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej można opisać funkcją ogólną:

$$P_{TK} = f(N, R, v, K, e) \quad (1)$$

gdzie:

- N – nacisk taśmy na krążnik;
- R – promień krążnika;
- v – prędkość taśmy;
- K – naciąg taśmy;
- e – grubość bieżnika dolnego.

Funkcja ta jednak nie uwzględnia temperatury taśmy przenośnikowej. Jednakże bieżniki taśm wykonuje się z tworzyw sztucznych (guma polichlorek winylu), dla których temperatura jest jednym z podstawowych parametrów wpływających na ich własności reologiczne.

Według A. Wilczyńskiego [12] zmiany powyższych własności występują wyraźniej niż w przypadku tradycyjnych materiałów przyjmują nawet w pewnych zakresach temperatur charakter nieciągłości. Także W. May, E. Morris, D. Atack stwierdzają, że temperatura powierzchni lekko-sprężystej ma duży wpływ na opory ruchu toczącego się po niej twardego walca (continuum nieodkształcalne). A. Wilczyński stwierdza ponadto, że dla większości polimerów tłumienie rośnie wraz ze spadkiem temperatury.

Wobec tego wysunięto hipotezę, na podstawie której opór toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej powinien rosnąć wraz ze spadkiem temperatury taśmy, co zostało przez autorów udowodnione doświadczalnie.

W związku z powyższym stwierdzony przez badaczy radzieckich [5] wzrost oporu ruchu przenośnika taśmowego w warunkach niskich temperatur jest wynikiem zmiany oporów: obracania krążników, toczenia krążników po taśmie oraz falowania poprzecznego taśmy przenośnikowej, który to opór jest wynikiem opóźnienia sprężystego taśmy przenośnikowej. Prawdopodobnie praktycznie przyrost oporu falowania poprzecznego taśmy w warunkach niskich temperatur można pominąć, gdyż udział tego oporu w sumarycznym oporze ruchu przenośnika taśmowego jest mały.

Kolejną przesłanką przemawiającą za dużym wpływem temperatury na opory toczenia są wyniki badań [3], [6], [8], [11]. Wykonany w pracy doktorskiej H. Behrensa wykres porównujący wyniki badań oporu toczenia uzyskane przez naukowców niemieckich wskazuje na duży ich rozrzut. W szczególności wyniki otrzymane przez F. Schwarza [8] są mniejsze od pozostałych o średnio 100%. Wyniki te otrzymał on na próbkach taśm przENOŚNIKOWYCH o długości w linii zamkniętej około 5 m, co prowadziło do jej częstego zginania na bębnie napędowym i zwrotnym, wskutek czego część energii sprężystej zamieniona na ciepło powodowała nagrzewanie się badanej próbki. Tak więc badania te, przypuszczalnie zostały przeprowadzone na próbkach o podwyższonej temperaturze, tym wyższej im większy był naciąg próbki, nacisk krążnika pomiarowego oraz ilość obrotów próbki badanej w okresie rozruch - pomiar. W trakcie tych badań nie prowadzono stabilizacji temperatury otoczenia i pomiaru temperatury próbki. Zastosowana zasada pomiarów (bęben oporowy po przeciwnej stronie krążnika pomiarowego) także wniosła pewne odchylenia, należy jednak przypuszczać, że wpływ temperatury był dominujący. Pozostałe badania [3], [6], [11] przeprowadzono na próbkach o długości kilkudziesięciu metrów, wobec czego przyrost temperatury próbki był prawdopodobnie pomijalny ze względu na małą częstotliwość zginania poszczególnego przekroju taśmy, a także dłuższy jego okres ochłodzenia.

W IMG Politechniki Śląskiej w Gliwicach przeprowadzono badania uwzględniające wpływ wszystkich parametrów konstrukcyjno-ruchowych przenośnika taśmowego na opór toczenia.

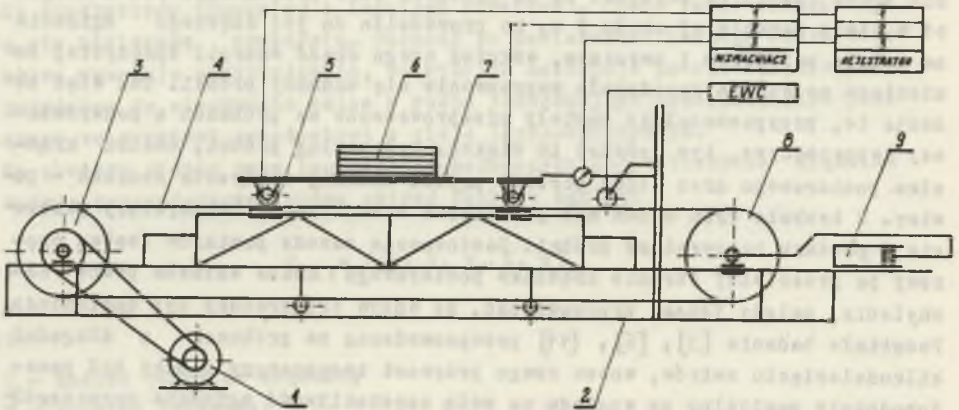
Stanowisko badawcze do pomiaru oporu toczenia

Opracowana w IMG Politechniki Śląskiej oryginalna koncepcja stanowiska badawczego przedstawionego na rys. 1 pozwala - na co położono główny nacisk - na jednoczesny pomiar oporu toczenia i obracania krążnika. Wobec czego wykonanie pomiaru następuje z ohwilą osiągnięcia przez próbkę badaną prędkości znamionowej, ograniczając w ten sposób nagrzewanie próbki do niezbędnego minimum. Zasada ta pozwala także przy opracowaniu wyniku operować rzeczywistymi wartościami oporu obracania krążników, w przeciwieństwie do wcześniejszych metod pomiarowych, w których opór ten wyznaczano na osobnym stanowisku badawczym posługując się w tym wypadku wartościami średnimi. Konstrukcję stanowiska badawczego rozwiązano w ten sposób, by próbkę badaną - w strefie kontaktu z krążnikiem pomiarowym - utrzymać w linii prostej umożliwiając mierzenie czystego oporu toczenia bez jakiegokolwiek udziału oporu falowania poprzecznego taśmy przENOŚNIKOWEJ. Na stanowisku tym opór toczenia można badać w zależności od:

- nacisk krążnika 0 - 8 kg/cm
- średnica krążnika 100 - 220 mm

- prędkość taśmy 1,4 - 6 m/s
- napiąg taśmy 0 - 5000 kG

Temperatura pomiaru zależy od nastawienia termometru kontaktowego, sterującego układem chłodniczym.



Rys. 1. Stanowisko do badania oporu toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej

1 - napęd, 2 - konstrukcja nośna, 3, 8 - bęben napędowy zwrotny, 4 - próbka badania, 5 - płyty ślizgowe, 6 - obciążenie, 7 - wózek pomiarowy, 9 - układ napinania

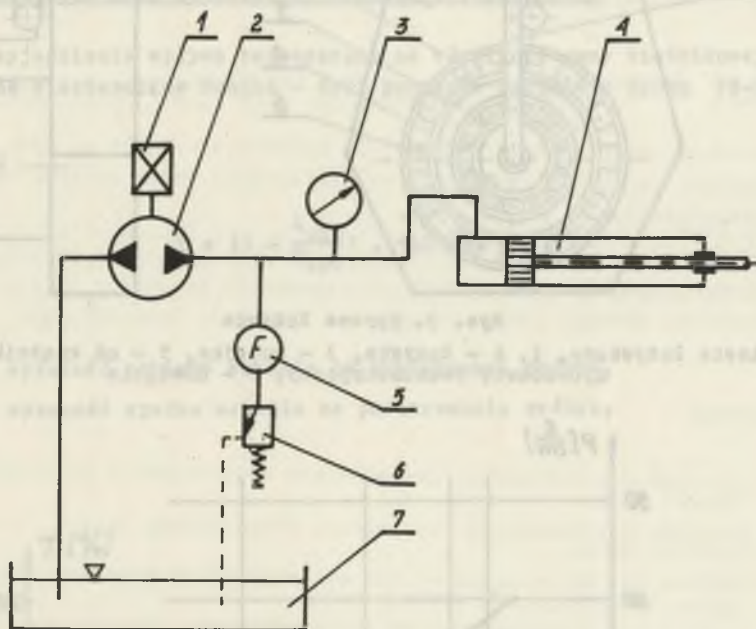
Przedstawione na rys. 1 stanowisko badawcze składa się z następujących zespołów:

- napęd,
- bębny (napędowy, zwrotny),
- konstrukcja nośna,
- wózek pomiarowy,
- układ napinania,
- układ pomiarowy.

Do napędu stanowiska badawczego zastosowano przekładnię łańcuchową pozwalającą na płynną regulację prędkości. Próbkę napina bęben zwrotny przesuwany siłownikiem zasilanym układem hydraulicznym rys. 2. Wózek pomiarowy służy do zamontowania w oprawach łożyskowych krążników pomiarowych. Oprawy łożyskowe (rys. 3) pozwalają mierzyć opór obracania krążników. Tulejki (3) opraw łożyskowych obracają się w przeciwnych kierunkach, w wyniku czego moment zawieszenia krążnika jest praktycznie równy zero. Wkręcona w oś krążnika dźwignia działająca na dynamometr tensometryczny umożliwia pomiar oporu obracania krążnika pomiarowego.

Metodyka pomiarów i wyniki badań

Na opisanym stanowisku badawczym przeprowadzono pomiary oporu toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej TK/250 o 5 przekładniach stylonowych, grubości bieżnika 4 mm w temperaturze (+13°C), (+20°C), (+30°C). Przed wykonaniem badań próbka była stabilizowana w danej temperaturze przez około

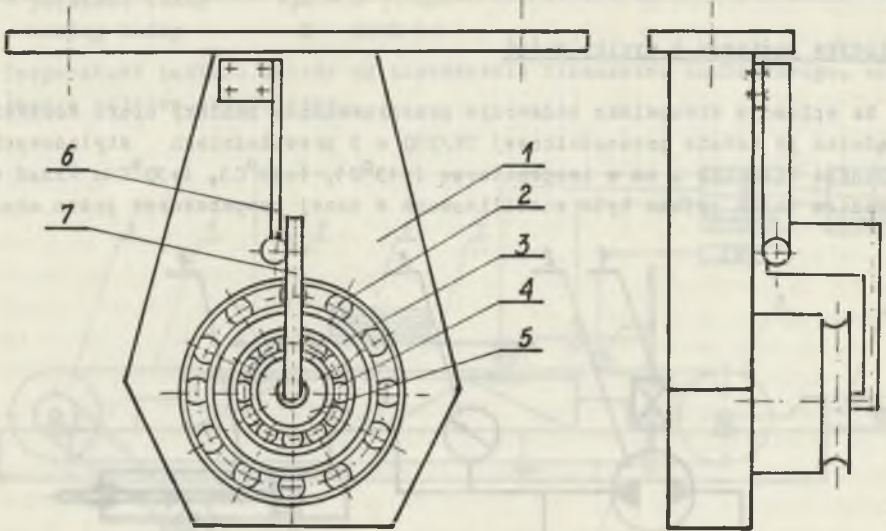


Rys. 2. Układ hydrauliczny zasilający siłownik napinający

1 - silnik, 2 - pompa, 3 - manometr, 4 - siłownik, 5 - filtr, 6 - zawór przelewowy, 7 - zbiornik oleju

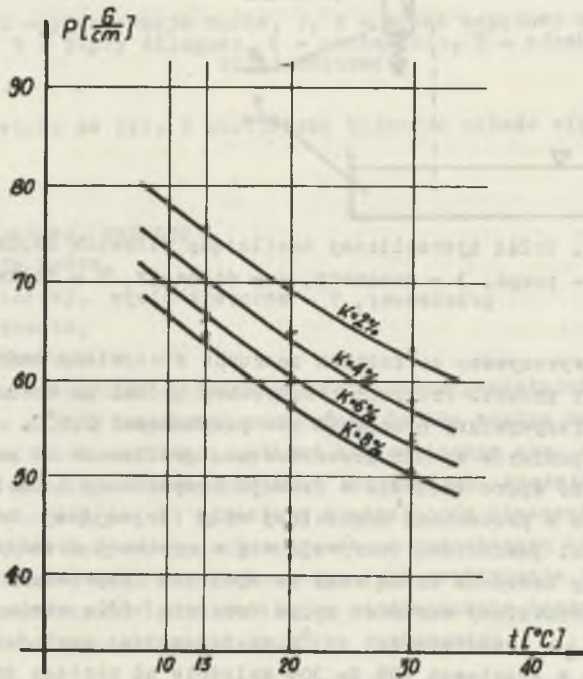
10 h. Pomiary wykonywano po krótkim rozruchu stanowiska badawczego do żądanej prędkości próbki. Przyrost temperatury próbki po dokonaniu pomiarze w stosunku do temperatury otoczenia nie przekraczał 0,5°C.

Uzyskane z pomiarów wyniki przedstawiono graficznie na rys. 4. Wykres ujmuje zależność oporu toczenia w funkcji temperatury i naciągu próbki, który określono w procentach nominalnej siły zrywającej badaną próbką. Otrzymane wyniki jakościowo pokrywają się z wynikami rozważań reologicznych, tj. opory toczenia rosną wraz ze spadkiem temperatury badanej próbki. Przyrost procentowy wartości oporu toczenia (dla wielkości parametrów na rys. 4) w temperaturze +13°C względem jego wartości w temperaturze +30°C waha się w granicach 20% do 30% zależnie od naciągu próbki. Można więc prognozować - przy założeniu ciągłości zmian oporu toczenia w funkcji temperatury - że przyrost oporu toczenia w temperaturze (-30°C) w odniesieniu do jego wartości w temperaturze (+30°C) wyniesie średnio 75%.



Rys. 3. Oprawa łożyska

1 - piasta łożyskowa, 2, 4 - łożyska, 3 - tulejka, 5 - oś krąźnika, 6 - dynamometr tensometryczny, 7 - dźwignia



Rys. 4. Wykres oporu toczenia w funkcji temperatury dla przejętych wartości naciągu - K, prędkość $3 \frac{m}{s}$, średnica krąźnika $D = 106 \text{ mm}$

Na podstawie uzyskanych wyników należy stwierdzić, że wpływ temperatury taśmy przenośnikowej na opory toczenia jest istotny - wobec czego parametr ten należy w badaniach a także i obliczeniach uwzględnić na równi z uprzednio przebadanymi.

Pomiary tłumienia gumy bieżnikowej w funkcji temperatury

Celem wyjaśnienia wpływu temperatury na tłumienie gumy bieżnikowej wykonano - na elastometrze Schoba - cykl pomiarów zgodnie z normą PN-54/C-04255.

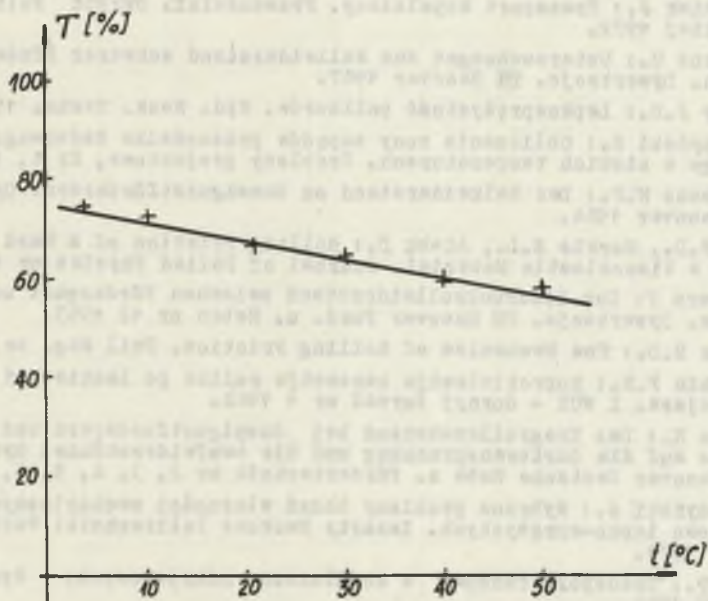
Wyrażenie:

$$T = \left(1 - \frac{h_{odb}}{h_{spd}}\right) \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

gdzie:

h_{odb} - wysokość odbicia wahadła od powierzchni próbki,

h_{spd} - wysokość spadku wahadła na powierzchnię próbki,



Rys. 5. Wykres tłumienia w funkcji temperatury

pozwała wyznaczyć udział procentowy energii potencjalnej rozproszonej w próbie badanej, a więc jest miernikiem tłumienia materiału próbki.

Wykres na rys. 5 przedstawia zależność tłumienia od temperatury, które rośnie ze spadkiem temperatury próbki. Jest to zgodne z wynikami badań o poru toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej. Zbieżność jakościowa użytych wyników polega na tym, że wraz ze spadkiem temperatury rośnie tłumienie materiału oraz opór toczenia.

Wnioski

1. Istnieją przesłanki potwierdzające wpływ temperatury na opór toczenia krążnika po taśmie przenośnikowej co zostało przez autorów udowodnione doświadczalnie.
2. Dalsze badania pozwolą na ustalenie dokładnej formuły empirycznej określającej opór toczenia w funkcji wszystkich zmiennych (nacisk, promień krążnika, naciąg, prędkość, grubość bieżnika, temperatura).

LITERATURA

- [1] Antoniak J.: Obciążenia przenośników stosowanych w górnictwie. Wyd. "Śląsk" 1970.
- [2] Antoniak J.: Transport kopalniany. Przenośniki. Skrypt Politechniki Śląskiej 1972.
- [3] Behrens U.: Untersuchungen zum Wallwiderstand schwerer Förderbandanlagen. Dysertacja. TH Hanover 1967.
- [4] Ferry J.D.: Lepkosprężystość polimerów. Wyd. Nauk. Techn. 1965.
- [5] Kopyziński R.: Obciążenie mocy napędów przenośnika taśmowego pracującego w niskich temperaturach. Problemy projektowe, Nr 4, 1970.
- [6] Lachmann H.P.: Der Walkwiderstand an Gummigurtförderern. Dysertacja. TH Hanover 1964.
- [7] May W.D., Morris E.L., Atack D.: Rolling Friction of a Hard Cylinder over a Viscoelastic Material. Journal of Applied Physics nr 11, 1959.
- [8] Schwarz F.: Zum Eindrückrollwiderstand zwischen Fördergurt und Tragrolle. Dysertacja. TH Hanover Ford. u. Heben nr 12 1967.
- [9] Tabor B.D.: The Mechanism of Rolling Friction. Phil Mag. nr 7 1952.
- [10] Utrobin P.N.: Soprotivlenija kaczennija roljka po lentie pri rabotie konvejera. I WUZ - Gornyj Żurnal nr 1 1960.
- [11] Leyen H.: Der Tragrollenabstand bei Gummigurtförderern und sein Einfluss auf die Gurtbeanspruchung und die Laufwiderstände. Dysertacja. TH Hanover Deutsche Hebe u. Fördertechnik nr 2, 3, 4, 5, 6, 1960.
- [12] Wilożyński A.: Wybrane problemy badań własności mechanicznych ośi liniowo lepko-sprężystych. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej nr 1 1970.
- [13] Żur T.: Transport taśmowy w kopalniach odkrywkowych, Wydawnictwo Śląsk 1966.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ ТРАНСПОРТНОГО РОЛИКА
ПО ПОЛОТНЕ КОНВЕЙЕРА С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ

Р е з ю м е

В статье представлена конструкция испытательного стенда и результаты исследований, подтверждающие существенное влияние температуры на величину сопротивления качению транспортного ролика по полотне конвейера.

INVESTIGATIONS CONCERNING THE ROLLING FRICTION OF A RUNNER
ALONG THE CONVEYOR BELT WITH RESPECT TO TEMPERATURE

S u m m a r y

The paper describes the construction of a test stand as well as the results of investigations that confirm the substantial influence of temperature upon the magnitude of the rolling friction of a runner along the conveyor belt.