

*Monika Hardygóra\**, *Henryk Komander\*\**, *Mirosław Bajda\*\**

## ENERGOOSZCZĘDNE TAŚMY PRZENOŚNIKOWE DLA KOPALŃ WĘGLA BRUNATNEGO

---

### 1. Wprowadzenie

Przenośniki taśmowe są podstawowymi urządzeniami transportowymi w krajowym górnictwie rud miedzi i węgla brunatnego, wzrasta ich udział także w kopalniach węgla kamiennego i surowców skalnych. Z analiz prowadzonych w zakładach górniczych wynika, że udział kosztów transportu przenośnikowego wynosi około 12–15% ogólnych kosztów eksploatacji. Są to przede wszystkim koszty zużycia energii elektrycznej i koszty eksploatacji elementów przenośników w szczególności taśm i krążników.

Aktualnie uwaga projektantów i użytkowników systemów transportu taśmowego skupia się na rozwiązaniach energooszczędnych. Największych oszczędności w zużyciu energii można oczekiwać w racjonalnym doborze taśmy przenośnikowej i krążników, a w niektórych przypadkach w niekonwencjonalnych rozwiązaniach trasy, napędów, urządzeń napinających i przesyponych [9, 11].

W polskich kopalniach węgla brunatnego eksploatowanych jest ponad 500 km taśm przenośnikowych. Stosuje się przede wszystkim taśmy z linkami stalowymi, ponieważ ich zastosowanie umożliwia budowę długich przenośników o dużych wydajnościach. Napędy takich przenośników zużywają znaczne ilości energii elektrycznej. Z uwagi na fakt, że udział oporów toczenia taśmy po krążnikach w długich przenośnikach stanowi ponad 60% oporów ruchu przenośnika, dlatego oszczędności wynikające z zastosowania taśm o mniejszych oporach toczenia może istotnie zmniejszyć koszty transportu urobku.

### 2. Opory ruchu przenośnika

Decydujące znaczenie dla poboru energii elektrycznej przez napędy przenośników mają opory główne  $W_G$ , które związane są z przemieszczaniem się taśmy przenośnikowej po

---

\* Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, Wrocław;  
KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław

\*\* Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, Wrocław

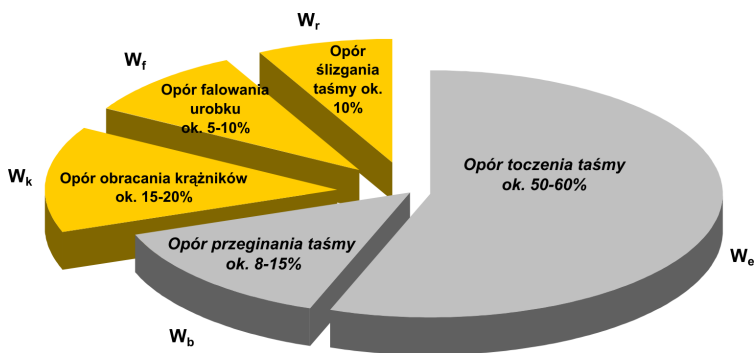
zestawach krążnikowych i występują na całej trasie przenośnika. Opory te zapisujemy równaniem (1):

$$W_G = W_k + W_e + W_b + W_f + W_s \quad (1)$$

Opory główne można podzielić na dwie grupy:

- 1) Opory zależne od właściwości taśmy:
  - opory toczenia taśmy po krążnikach  $W_e$ ,
  - opory przeginania taśmy  $W_b$ ;
- 2) Opory niezależne od właściwości taśmy:
  - opory obracania krążników  $W_k$ ,
  - opory falowania urobku  $W_f$ ,
  - opory tarcia taśmy o krążnik  $W_r$ .

Udział poszczególnych składowych w całkowitym bilansie oporów głównych przenośnika przedstawiono na rysunku 1 [4].



**Rys. 1.** Udział składowych oporów głównych wzdłuż ciągu górnego przenośnika nadkładowego

Z analizy zjawiska przemieszczania się taśmy po zestawach krążnikowych wynika, że istotny wpływ na opory toczenia taśmy po krążnikach i jej przeginania mają właściwości taśmy przenośnikowej, które wpływają w około 60% na opory główne przenośnika. Przeważająca część tych oporów (80%) stanowią opory toczenia taśmy po krążnikach  $W_e$ .

### 3. Opory toczenia taśmy po krążnikach

Przy toczeniu lepko-sprężystej taśmy po zestawach krążnikowych przemianie (rozproszczeniu) ulega określona część energii. Przyrost siły w taśmie niezbędny do pokonania strat

energii na pojedynczym zestawie krążnikowym definiowany jest jako opór toczenia taśmy lub opór wgniatania krążnika w taśmę. W ujęciu modelowym jest to opór jaki towarzyszy toczeniu sztywnego walca (krążnika) po odkształcalnym podłożu (taśmie). Opór toczenia taśmy po krążnikach można obliczyć z zależności (2) [5]:

$$W_e = 0,463 \cdot \psi_e \cdot \sqrt[3]{\frac{R_i^4}{D_K^2 \cdot l_{ki} \cdot \lambda_e \cdot c_e}} \quad (2)$$

gdzie:

- $W_e$  — opór toczenia (wgniatania taśmy w krążnik), N,
- $\psi_e$  — współczynnik tłumienia, %,
- $R_i$  — wypadkowa siła normalna na krążniku, N,
- $l_{ki}$  — długość strefy kontaktu taśmy z krążnikiem, m,
- $\lambda_e$  — bezwymiarowy współczynnik geometrii zgięcia taśmy na zestawie krążnikowym,
- $c_e$  — zastępcza jednostkowa sztywność poprzeczna taśmy, N/m<sup>3</sup>,
- $i$  — indeks określający krążnik.

Wprowadzając stałą  $K$ , której wielkość nie zależy od właściwości taśmy, zależność (2) przybierze postać:

$$W_e = K \cdot \frac{\psi_e}{\sqrt[3]{E_e}} \quad (3)$$

gdzie:

- $K$  — współczynnik nie zależny od właściwości gumy a zależny od obciążenia, geometrii zgięcia taśmy na krążniku, średnicy krążnika, grubości okładki,
- $E_e$  — moduł sprężystości, N/m<sup>2</sup>.

Ułamek występujący w równaniu (3) jest wskaźnikiem właściwości dynamicznych gumy przy ściskaniu  $D_{gumy}$ , który charakteryzuje energooszczędność gumy:

$$D_{gumy} = \frac{\psi_e}{\sqrt[3]{E_e}} \quad (4)$$

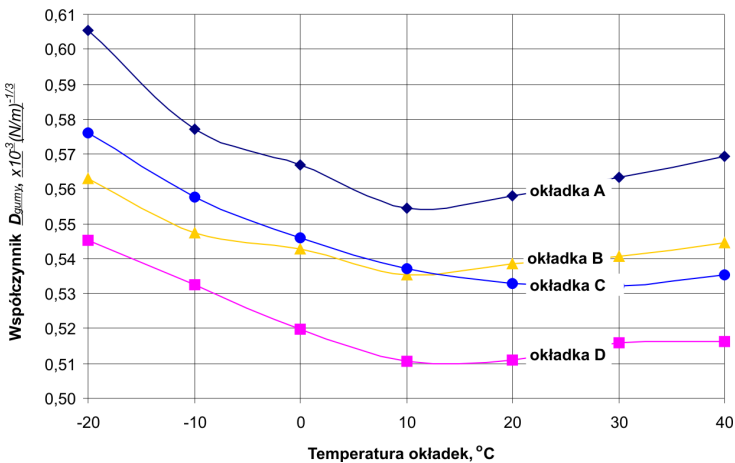
W badaniach laboratoryjnych poszukuje się takich gum, których współczynnik  $D_{gumy}$  przyjmuje wartości najmniejsze.

Właściwości sprężyste oraz tłumienie taśmy zależą także od konstrukcji taśmy. Tak więc, opory toczenia taśmy po krążnikach można ograniczyć przez optymalnie dobraną okładkę bieżną taśmy i jej konstrukcję. Laboratorium Transportu Taśmowego Instytutu Górnictwa

Politechniki Wrocławskiej od kilku lat prowadzi prace nad taśmą energooszczędną [1–3, 8]. Opracowano własne metody badań i zbudowano nowe stanowiska badawcze. Głównym celem tych badań jest dobranie na okładkę bieżną taśmy takiej gumy, która będzie charakteryzowała się najmniejszymi wartościami wskaźnika właściwości dynamicznych gumy  $D_{gumy}$  w całym zakresie temperatur pracy przenośnika, przy założeniu, że jej wytrzymałość, wydłużalność, odporność na ścieranie i twardość nie ulegną pogorszeniu [7].

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowo wyniki badań zależności współczynnika  $D_{gumy}$  od temperatury dla czterech rodzajów gumy.

Badania mieszanek kauczukowych polegają na identyfikacji współczynnika tłumienia oraz modułu sprężystości przy cyklicznym ściskaniu. Badania wykonuje się na specjalnym stanowisku badawczym w komorze klimatycznej [1]. Ten etap badań pozwala wskazać mieszanki kauczukowe na okładki bieżne o niskim współczynniku tłumienia i wysokim module.



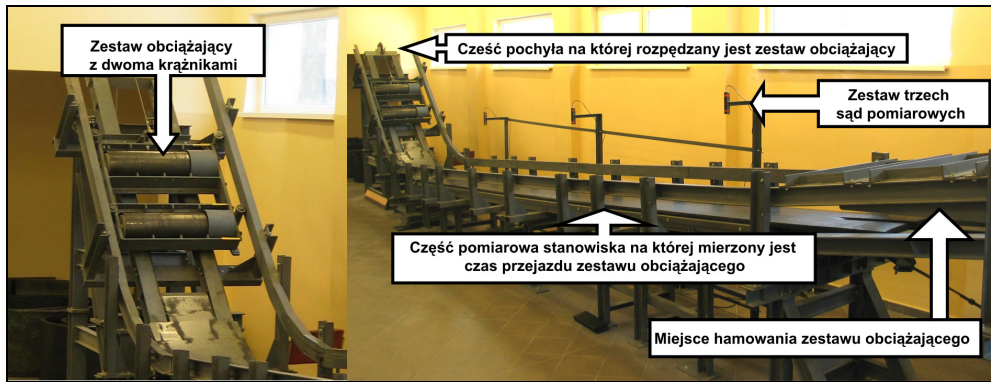
Rys. 2. Współczynnik właściwości dynamicznych w zależności od temperatury gumy

Z badań wykonanych w przedziale temperatur od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$  wynika, że wraz ze spadkiem temperatury wzrasta moduł sprężystości gumy, ale jednocześnie istotnie wzrasta współczynnik tłumienia. Ponieważ współczynnik  $D_{gumy}$  liniowo zależy od współczynnika tłumienia i wykładniczo (z wykładnikiem  $1/3$ ) maleje ze wzrostem modułu sprężystości taśmy, to w efekcie wraz ze spadkiem temperatury wyraźnie wzrasta opór toczenia taśmy.

#### 4. Konstrukcja taśmy przenośnikowej

Badania dynamiczne pozwoliły wytypować mieszanki kauczukowe na okładki bieżne próbnymi odcinkami taśm z linkami stalowymi, które poddano dalszym badaniom w celu wy-

znaczenia oporu toczenia taśmy po krążnikach [1, 6]. Opór toczenia taśmy po krążnikach oznaczano na specjalnym stanowisku badawczym, które zaprezentowano na rysunku 3.



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe do badania oporów toczenia

Pomiary polegały na rejestrowaniu czasu przejazdu zestawu krążników po określonym odcinku taśmy przenośnikowej. Badania wykonywano przy jednostkowym nacisku wywieranym przez krążniki na taśmę wyliczonym na podstawie średniorocznego obciążenia przenośników taśmowych pracujących w kopalniach węgla brunatnego w Polsce [10]. Pomiary wykonywano w zakresie temperatur od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $+20^{\circ}\text{C}$ . Czas przejazdu wózka po taśmie mierzono za pomocą pomocy trzech sond fotometrycznych. Na podstawie uzyskanych wyników pomiaru obliczano jednostkowy opór toczenia  $W_e$  z zależności (3):

$$W_e = \left[ \left( m + 2 \frac{I_r}{r^2} \right) a - W_k - W_p \right], \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}} \right] \quad (3)$$

gdzie:

$$W_p = m \cdot g \cdot \sin \beta \quad (4)$$

$W_k$  — suma dynamicznego oporu obracania dwóch krążników, N;

$W_p$  — opór podnoszenia wózka, N;

$m$  — masa wózka, kg;

$a$  — opóźnienie,  $\text{m/s}^2$ ;

$I_r$  — moment bezwładności krążnika,  $\text{kg} \times \text{m}^2$ ;

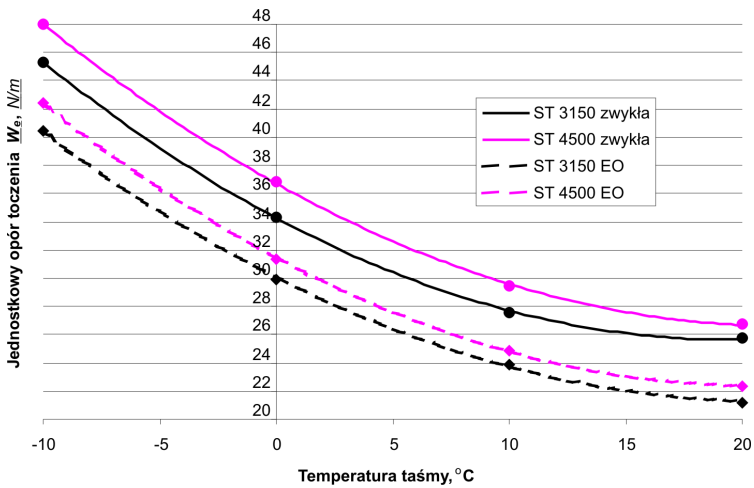
$r$  — promień krążnika, m;

$g$  — przyspieszenie ziemskie,  $\text{m/s}^2$ ;

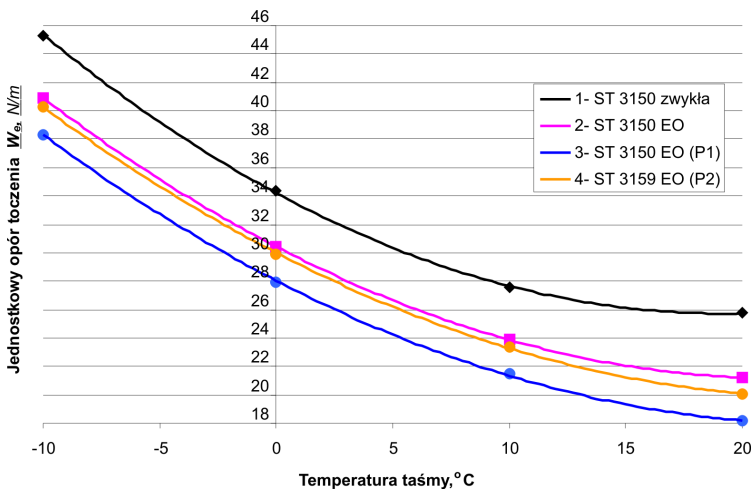
$\beta$  — kąt nachylenia pomiarowej części równi;

$b$  — szerokość taśmy, m.

Na rysunku 4 pokazano zmierzone opory toczenia taśm typu ST 3150 oraz ST 4500. Porównywane taśmy miały okładki bieżne wykonane z mieszanek gumowych zwykłych i energooszczędnych (EO). Największe opory toczenia uzyskała taśma ST 4500. Na rysunku 5 umieszczono wykresy jednostkowego oporu toczenia czterech taśm w następującym wykonaniu: 1 — standardowa, 2 — z okładką bieżną energooszczędną, 3 — z okładką bieżną energooszczędną z brekerem P1, 4 — z okładką bieżną energooszczędną z brekerem P2.

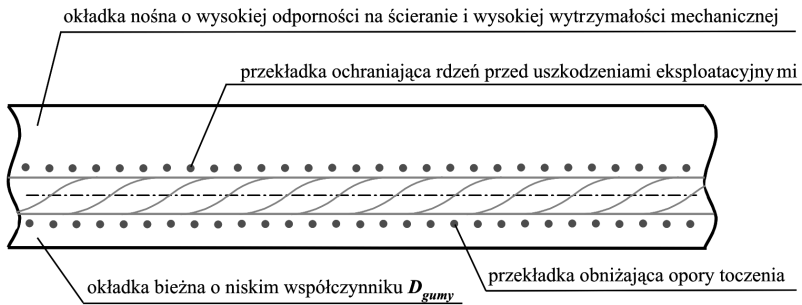


**Rys. 4.** Porównanie jednostkowych oporów toczenia taśm standardowych typu ST 3150 oraz ST 4500 z taśmami ze zmodernizowaną okładką bieżną



**Rys. 5.** Jednostkowe opory toczenia taśmy po krążnikach w zależności od konstrukcji, przy tych samych okładkach bieżnych

Najmniejsze opory toczenia uzyskano dla taśmy ST 3150 z brekerem P1. Jeżeli wyżej opisaną taśmę wzmocni się także brekerem w okładce nośnej, wtedy dodatkowo uzyska się wzrost odporności taśmy na uszkodzenia eksploatacyjne typu przebić i przecięć. Na rysunku 6 umieszczono model takiej taśmy.



Rys. 6. Przykład taśmy z linkami stalowymi o zmodernizowanej konstrukcji

## 5. Podsumowanie

W sumarycznych oporach ruchu dla długich, poziomych przenośników opory toczenia taśmy po krążnikach mają największy udział. Opory te zależą przede wszystkim od właściwości taśm przenośnikowych a w szczególności właściwości okładki bieżnej. Modyfikując konstrukcję taśmy przenośnikowej można uzyskać obniżenie oporów toczenia i tym samym zmniejszyć zużycie energii elektrycznej przez napędy przenośnika. Można to uzyskać przez zastosowanie okładek bieżnych charakteryzujących się niskim współczynnikiem tłumienia i wysokim modułem przy ściskaniu. Dodatkowy efekt daje zastosowanie brekera w okładce bieżnej. Jeżeli zastosuje się także breker w okładce nośnej, wtedy taśma uzyskuje także większą odporność na uszkodzenia eksploatacyjne.

### LITERATURA

- [1] Bajda M.: Wpływ okładki gumowej na opory toczenia taśmy przenośnikowej po krążnikach. Praca doktorska, Wrocław, 2009 (niepublikowana)
- [2] Bajda M., Hardygóra M.: Determination of the conveyor belt's resistance to rolling on idlers, Proceedings of the Sixteenth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, MPES 2007 Bangkok, Thailand, 11–13 December 2007
- [3] Bajda M., Hardygóra M.: Effect of temperature on the properties of a conveyor belt cover, Proceedings of the Fifteenth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, MPES 2006 Torino, Italy, 20–22 September 2006
- [4] Gładysiewicz L.: Metody wyznaczania oporów głównych przenośnika taśmowego ze szczególnym uwzględnieniem własności taśmy. Prace Naukowe CPBP 02.05. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1990
- [5] Gładysiewicz L.: Przenośniki taśmowe, teoria i obliczenia. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003

- [6] *Hardygóra M., Komander H., Bajda M.*: Taśma przenośnikowa jako istotny element obniżający koszty eksploatacji transportu przenośnikowego, V Szkoła Mechanizacji i Automatykacji Górnictwa, Ustroń 24–26 marzec 2010
- [7] *Hardygóra M. i in.*: Taśmy przenośnikowe. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1999
- [8] *Hardygóra M., Bajda M., Gładysiewicz L.*: Wpływ parametrów mieszanek gumowych na energochłonność transportu przenośnikowego. *Transport Przemysłowy* 2007 nr 3
- [9] *Hintz A.*: Einfluss des Gurtaufbase auf dem Energieverbrauch von Gurtförderanlagen. Dissertation Universität Hannover 1993
- [10] *Kasztelewicz Z.*: Węgiel brunatny, optymalna oferta energetyczna dla Polski, Wrocław 2007
- [11] *Kawalec W.*: Przenośniki taśmowe dalekiego zasięgu. *Transport Przemysłowy* 1/2003