

**Kazimierz FURMANIK\*, Piotr KASZA\***

## **WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNE KRĄŻNIKA NOWEJ KONSTRUKCJI**

### **SELECTED MAINTENANCE PROPERTIES OF A NEWLY DESIGNED IDLER**

#### **Słowa kluczowe:**

przełożnik taśmowy, opory obracania krążnika nowej konstrukcji

#### **Key words:**

belt conveyor, rolling resistances of new design idler

#### **Streszczenie**

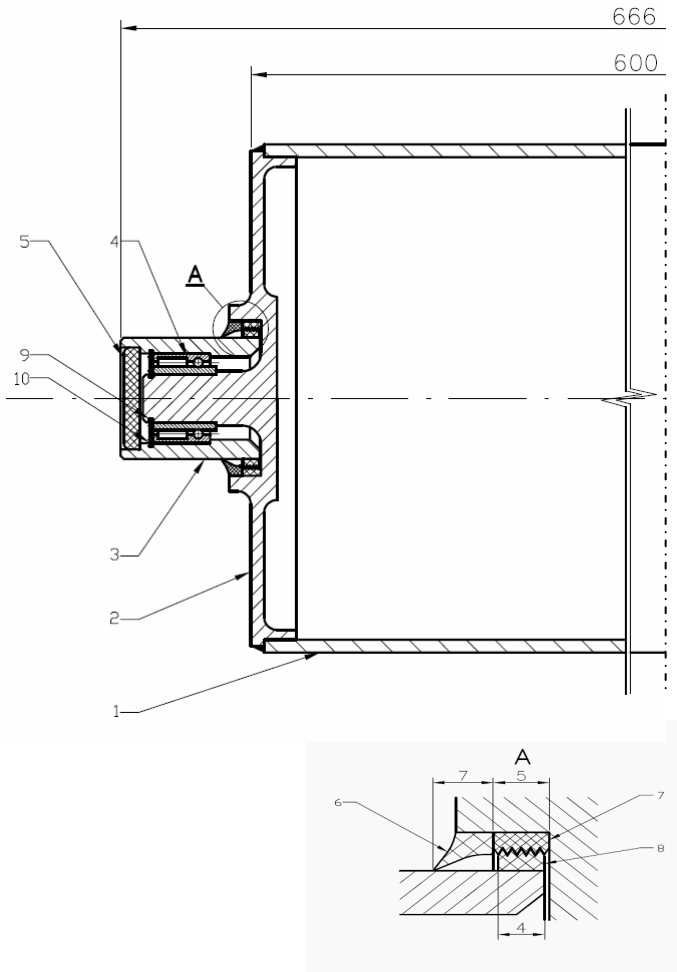
Ważnym i aktualnym zadaniem jest obniżenie energochłonności przełożników taśmowych stosowanych w górnictwie, także przez obniżenie oporów obracania krążników. W pracy przedstawiono nowe rozwiązanie krążnika o znacznie niższych oporach obracania niż krążników dotąd stosowanych w przełożnikach taśmowych, specjalne stanowisko do badań tych oporów i ich wyniki, a także informacje z badań w warunkach kopalnianych.

---

\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, tel. (12) 617 30 72, e-mail: fukaz@agh.edu.pl, piotr.kasza@agh.edu.pl.

## WPROWADZENIE

Uwarunkowania rynkowe oraz obowiązujące przepisy związane z BHP i ochroną środowiska zmuszają do poszukiwania bardziej energooszczędnych, niezawodnych i przyjaznych środowisku rozwiązań maszyn i urządzeń, w tym także przenośników taśmowych stosowanych do transportu materiałów kawałkowatych, drobnouziarnionych, sypkich i pylistych [L. 1]. Przenośniki taśmowe stosowane w górnictwie osiągają coraz większe parametry eksploatacyjne,



**Rys. 1. Nowa konstrukcja krążnika  $\phi 159 \times 600$  mm (1 – płaszcz; 2 – piasta; 3 – tuleja; 4 – łożysko; 5 – zaślepka; 6 – odrzutnik; 7, 8 – pierścienie uszczelniające; 9, 10 – pierścienie osadcze)**

**Fig. 1. New design of idler  $\phi 159 \times 600$  mm (1 – casing, 2 – hub, 3 – bushing, 4 – bearing, 5 – plug, 6 – deflector, 7, 8 – gaskets, 9, 10 – retaining rings)**

np. wydajności do 40 tys. Mg/h, długości ponad 20 km, prędkości taśmy do 8 m/s, a łączna ich długość w Polsce wynosi około 2 000 km, w tym w kopalniach węgla kamiennego blisko 900 km, rud miedzi – około 135 km, a zainstalowana w nich moc sięga 65 MW. Koszty produkcji i eksploatacji tych przenośników można obniżyć, między innymi przez zmniejszenie materiałochłonności i oporów ruchu (energochłonności) ich krążników, których liczba wynosi 3 200÷3 500 szt. na 1 km długości przenośnika [L. 5, 6, 8]. Dlatego poszukiwanie nowych rozwiązań krążników o mniejszych oporach ruchu jest problemem istotnym i aktualnym. W pracy przedstawiono nowe rozwiązanie krążnika (Rys. 1), budowę specjalnego stanowiska do badań jego oporów obracania i ich wyniki oraz informacje z eksploatacji w warunkach kopalnianych.

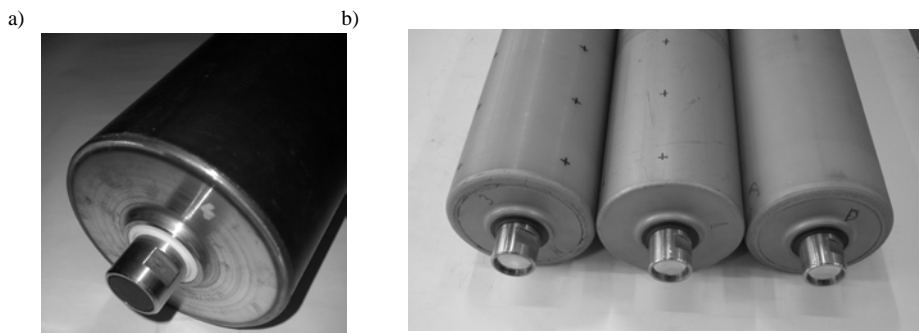
### KRĄŻNIK NOWEJ KONSTRUKCJI

Nową konstrukcję krążnika z łożyskami zespolonymi igiełkowo-kulkowymi o obniżonej masie i oporach ruchu, która jest przedmiotem ochrony patentowej, przedstawiono na Rys. 1 i 2 [L. 2, 3].

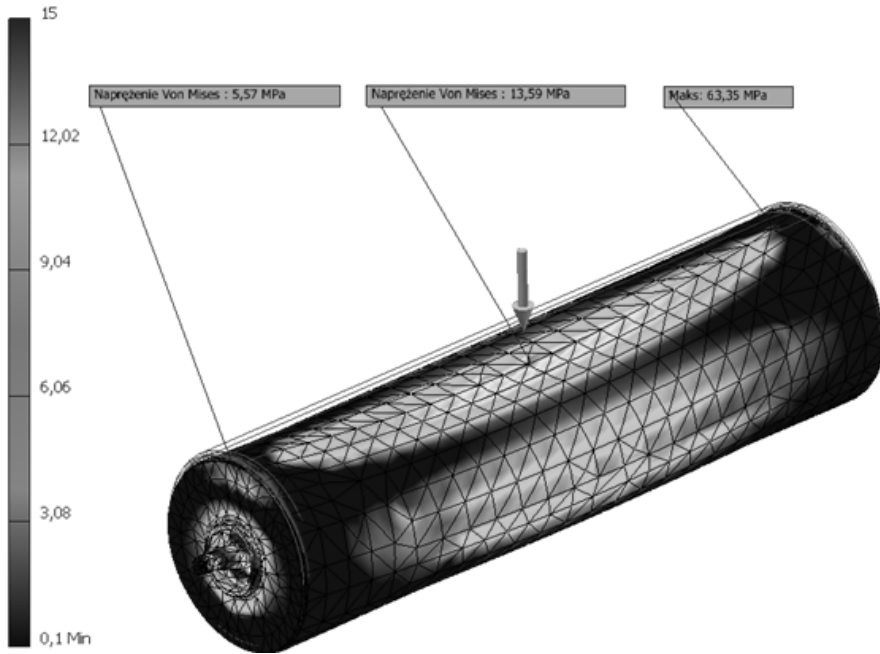
Nowe rozwiązanie krążnika umożliwia obniżenie jego energo- i materiałochłonności przy zapewnieniu dużej trwałości, dzięki:

- zmniejszeniu średnicy łożysk i uszczelnień,
- wyeliminowaniu tzw. „przekoszenia” łożysk, dzięki ich zabudowie w miejscach podparcia półosi krążnika,
- zmniejszeniu masy krążnika (o około 9%) dzięki wykonaniu półosi wraz z piastami krążnika.

W tym rozwiązaniu należy także podkreślić technologiczność wykonania piasty i osi (która jest toczona przy zewnętrznym zamocowaniu na płaszczu krążnika, wcześniej połączonym spawem z piastą), które praktycznie eliminuje „bicie” osiowe krążnika, co stwarza możliwość stosowania tańszych rur (o większych tolerancjach wykonania).



Rys. 2. Widok krążników nowej konstrukcji: a)  $\phi 159 \times 600$  mm; b)  $\phi 133 \times 465$  mm  
Fig. 2. View of new design idlers: a)  $\phi 159 \times 600$  mm; b)  $\phi 133 \times 465$  mm



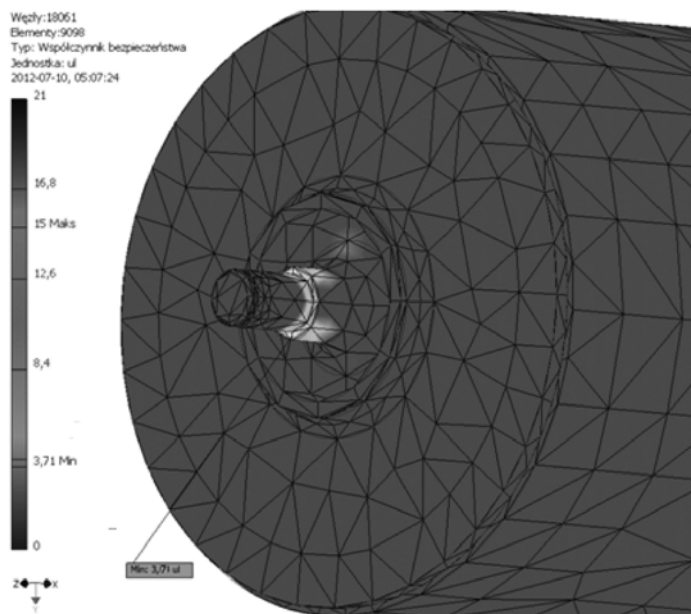
**Rys. 3. Rozkład naprężeń zredukowanych –  $\sigma_z$  wg hipotezy H-M-H, przy ograniczeniu wskazania maksymalnej wartości  $\sigma_z$  do 15 [MPa]**

Fig. 3. Reduced stress distribution –  $\sigma_z$  by H-M-H hypothesis, max value of –  $\sigma_z$  15 [MPa]

Krażniki te poddano najpierw badaniom symulacyjnym i laboratoryjnym, a następnie kopalnianym. Krążnik  $\phi 159 \times 600$  mm nowej konstrukcji przedstawiony na **Rys. 2a** poddano analizie wytrzymałościowej, wykorzystując program Autodesk Inventor 2012 [L. 4], której wyniki (**Rys. 3 i 4**) potwierdziły zdolność przyjmowania przez niego dużego obciążenia promieniowego.

Naprężenia zredukowane  $\sigma_z$  nie przekroczyły wartości dopuszczalnych, które dla materiału piasty – stali S235JR, wynoszą  $k_g = 145$  MPa, a materiału płaszczu – stali R35,  $k_g = 120$  MPa. Wartość maksymalną  $\sigma_{z \max} = 63,35$  MPa osiągnięto w piasku, w miejscu kontaktu łożyska ze średnicą oporową (odsadzeniem). Maksymalne naprężenia w płaszczu krążnika sięgają  $\sigma_z = 15$  MPa, zatem nie wystąpił stan niebezpieczny, mogący grozić utratą spójności materiału.

Najmniejszą wartość współczynnika bezpieczeństwa równą 3,71, a tym samym największe wyężenie materiału, zaobserwowano również w sąsiedztwie kontaktu łożyska z powierzchnią oporową półosi. Wartości przemieszczeń nie przekroczyły granicy 0,06 mm i mieszczą się w granicach odkształceń sprężystych. Także konstrukcja krążnika  $\phi 133 \times 465$  mm spełnia wytrzymałościowe wymagania.



**Rys. 4. Rozkład wykorzystania współczynnika bezpieczeństwa**

Fig. 4. Distribution of safety coefficient utilization

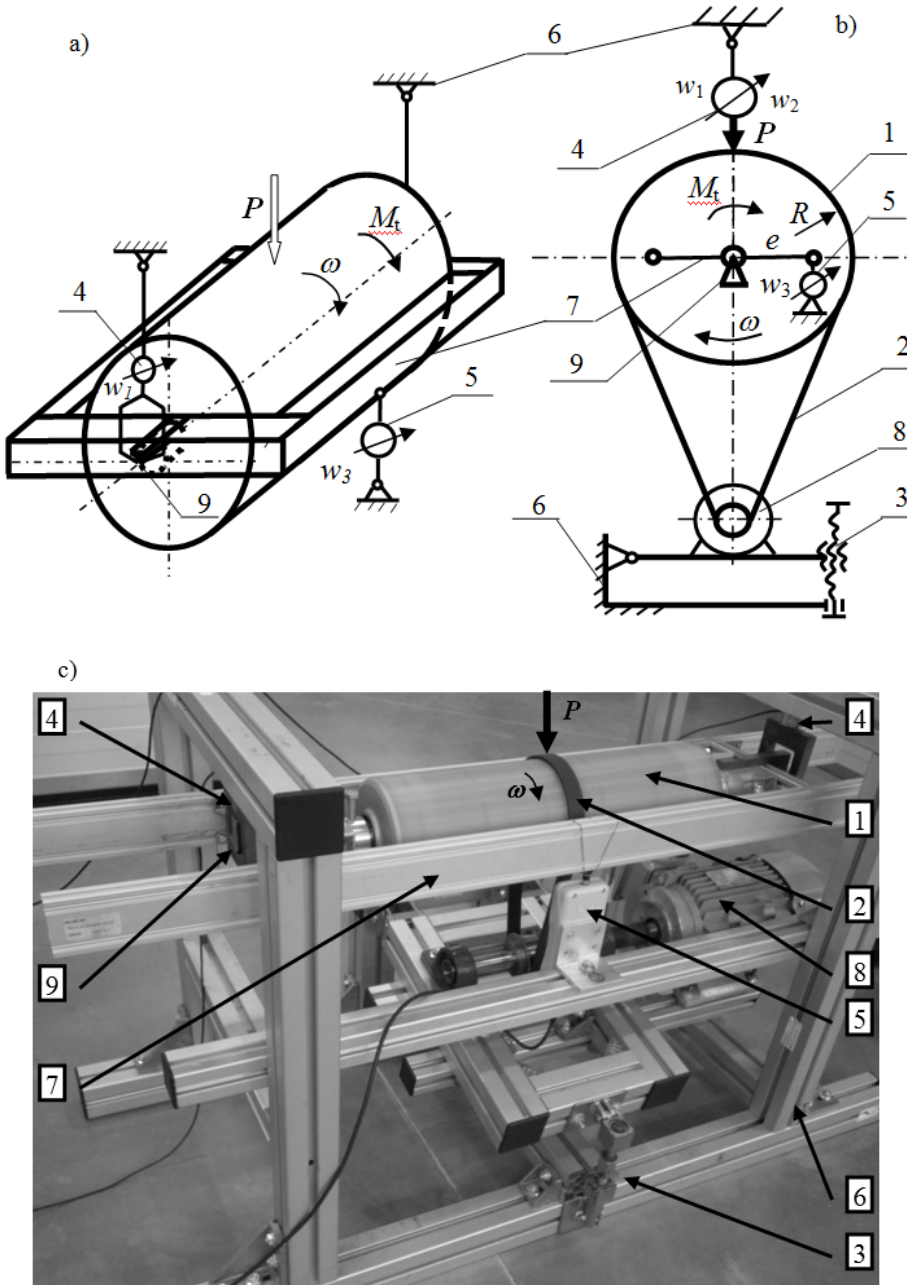
Dla zbadania w warunkach laboratoryjnych oporów obracania krążnika nowej konstrukcji zaprojektowano i wykonano unikalne stanowisko badawcze, pozwalające uwzględnić wpływ obciążenia i prędkości ruchu krążnika oraz temperatury otoczenia na jego opór obracania.

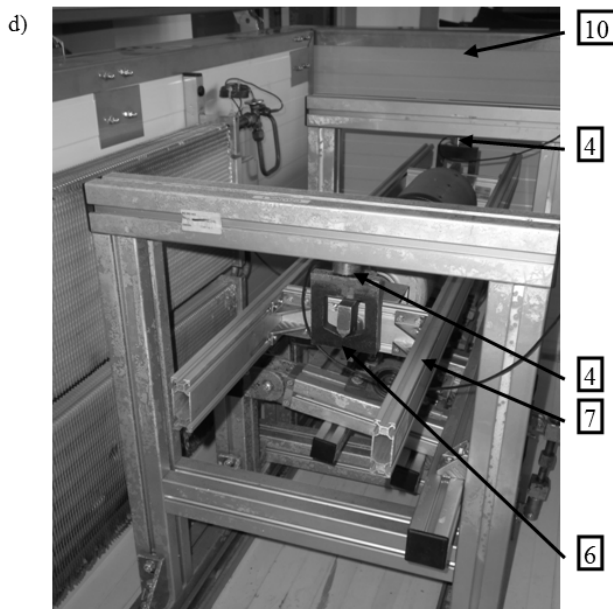
## BUDOWA STANOWISKA DO BADANIA OPORU OBRACANIA KRAŻNIKA NOWEJ KONSTRUKCJI

Schemat budowy i widok tego stanowiska przedstawiono na **Rys. 5**.

Krażnik 1 jest napędzany przez silnik 8 poprzez pas 2, a jego obciążenie promieniowe jest realizowane dźwigniowo-śrubowym układem 3. Przetwornik częstotliwości 3 (**Rys. 6**) zabudowany w układzie napędu silnika zapewnia bezstopniową regulację prędkości krążnika, który jest osiowo zabudowany w uchylniej ramce 7, a siła promieniowa obciążająca go jest mierzona za pomocą dwóch dynamometrów 4 zabudowanych w układzie podwieszenia tej ramki do ramy stanowiska 6 (**Rys. 5**). W osi ramki z obydwu jej końców są zamocowane łożyska nożowe 9 o pomijalnie małych oporach. Opory obracania krążnika powodują obrót ramki 7 i wystąpienie w połowie jej długości w punkcie podparcia dynamometrem tensometrycznym 5 na promieniu  $e$  siły reakcji, której wskazanie  $w_3$  jest miarą oporu obracania krążnika  $W$ . Rejestrowane obciążenie promieniowe krążnika  $P$  jest sumą wskazań  $w_1$  i  $w_2$  dynamometrów 4 zabu-

dowanych w cięgłach łączących ramkę 7 poprzez łożyska nożowe 9 z ramą stanowiska 6. Stanowisko wyposażone w układ rejestracji i akwizycji danych pomiarowych (Rys. 6) może być umieszczone w komorze klimatyzacyjnej 10 o regulowanej temperaturze od minus 30°C do plus 30°C (Rys. 5).





**Rys. 5. Schematy a), b) i widok c), d) stanowiska do badania oporu obracania kważnika: 1 – badany kważnik, 2 – pas, 3 – dźwigniowo-śrubowy układ obciążenia kważnika, 4 – dynamometry do pomiaru obciążenia kważnika, 5 – dynamometr do pomiaru oporu obracania kważnika, 6 – rama stanowiska, 7 – uchylna ramka, 8 – silnik, 9 – nożowe łożysko, 10 – komora klimatyzacyjna**

**Fig. 5. Schemes a), b) and view c), d) of stand for idler rolling resistances testing: 1 – tested idler, 2 – belt; 3 – screw-lever set, 4 – dynamometers for idler load measure, 5 – dynamometer for idler rolling resistance measure, 6 – stand frame, 7 – swing frame, 8 – motor, 9 – knife-edge bearing, 10 – climatic chamber**



**Rys. 6. Widok elementów układu pomiarowego stanowiska: 1 – komputer pomiarowy, 2 – moduł pomiarowy typu ADT4U-USB, 3 – przetwornik częstotliwości**

**Fig. 6. View of measuring set: 1 – measuring computer, 2 – ADT4U-USB module, 3 – frequency converter**

Dla przypadku ruchu ustalonego krążnika przy jego obciążeniu siłą promieniową  $P$  i pomijalnie małym momencie oporu w nożowych łożyskach ramki, z warunku równowagi momentów:

$$M_t = W \cdot R = e \cdot w_3 \quad (1)$$

wyznacza się opór obracania krążnika, który wynosi:

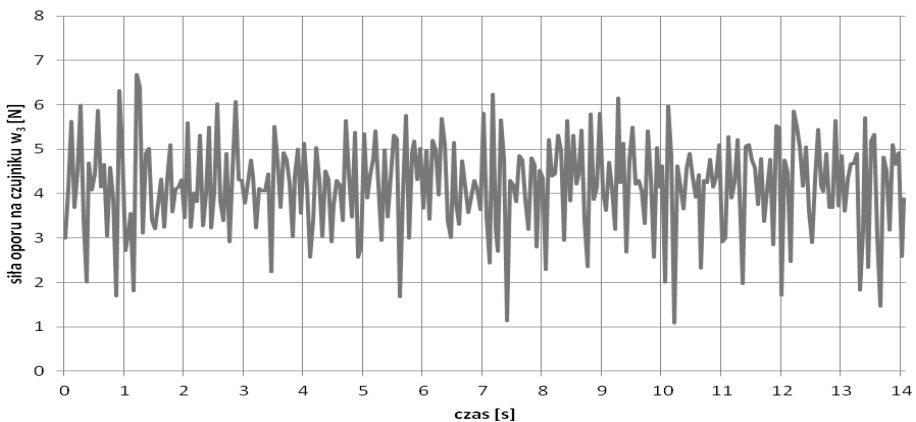
$$W = \frac{M_t}{R} = \frac{e}{R} w_3 \quad (2)$$

gdzie:

- $M_t$  – moment oporu obracania krążnika,
- $R$  – promień płaszczki krążnika,
- $e$  – mimoosiowość zamocowania dynamometru 5,
- $w_3$  – wskazanie dynamometru 5.

Dla wyznaczonych z pomiarów  $w_1$ ,  $w_2$  i  $w_3$  przy zadanych wartościach siły  $P$  i prędkości obwodowej  $v$  krążnika oraz parametrów  $R$  i  $e$  można z zależności (2) obliczyć jego opór obracania  $W$ . Na **Rys. 7** pokazano przykładowo odcinek zarejestrowanego przebiegu siły oporu obracania  $W$  krążnika.

Niewielkie gabaryty i masa zapewniają mobilność stanowiska, a jego konstrukcja umożliwia pomiar oporu obracania krążników o różnych rozmiarach z uwzględnieniem w szerokim zakresie zmienności ich obciążeń, prędkości ruchu i temperatury otoczenia.



**Rys. 7.** Przebieg siły oporu obracania krążnika  $\phi 133 \times 465$  mm przy:  $P = 850$  N,  $v = 2,95$  m/s i temperaturze otoczenia minus  $20^\circ\text{C}$

**Fig. 7.** Run of rolling resistance force of idler  $\phi 133 \times 465$  mm at  $P = 850$  N,  $v = 2,95$  m/s and ambient temperature minus  $20^\circ\text{C}$



## BADANIA LABORATORYJNE OPORU OBRACANIA KRĄŻNIKA

Na przedstawionym powyżej stanowisku przeprowadzono laboratoryjne badania oporu obracania krążnika  $\phi 133 \times 465$  mm z wykorzystaniem środowiska LabView, komputera, modułu pomiarowego typu ADT4U-USB, czujników tensometrycznych typu KMM20 do pomiaru siły obciążającej krążnik oraz czujnika typu DT – 2234C+ do pomiaru prędkości obwodowej krążnika [L. 3].

Przyjęto plan badań (typu uniform – rotabilny PS/DS – P: $\lambda$ ) [L. 7], w którym:

- 1) zmiennymi niezależnymi (sterowanymi) były: obciążenie promieniowe krążnika  $P$ , prędkość obwodowa krążnika  $v$ , temperatura otoczenia,
- 2) zmienną zależną: opór obracania krążnika  $W$ .

Badania te przeprowadzono w temperaturze otoczenia wynoszącej około  $+20^\circ\text{C}$  oraz w komorze klimatyzacyjnej przy temperaturach wynoszących:  $0^\circ\text{C}$ ,  $-10^\circ\text{C}$  i  $-20^\circ\text{C}$  (Rys. 8 i 9).

Zgodnie z przyjętym planem badań obliczone wartości czynników sterowanych wynosiły odpowiednio:

- siły nacisku:  $P = P_1 \div P_5 = 200; 248; 850; 1451; 1500$  [N],
- prędkości obwodowej:  $v = v_1 \div v_5 = 0,53; 1,25; 2,95; 4,66; 5,38$  [m/s].

W oparciu o uśrednione wartości wyników tych pomiarów wyznaczono zależność oporu obracania badanego krążnika w postaci funkcji:

$$W = a_0 + a_1P + a_2v + a_{11}P^2 + a_{22}v^2 + a_{12}Pv \quad (3)$$

gdzie:

$a_0, a_1, \dots, a_{22}$  – stałe podlegające wyznaczeniu w oparciu o wyniki pomiarów,

$P$  – obciążenie radialne krążnika, N,

$v$  – prędkość obwodowa krążnika, m/s,

przy czym wartości stałych współczynników  $a_0, a_1, \dots, a_{22}$  wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów. Oszacowany błąd pomiaru był poniżej 10%.

Przykładowo uzyskane z badań wyniki, obrazujące wpływ prędkości i obciążenia krążnika na jego opory obracania, przedstawiono w Tabeli 1 oraz na Rys. 8+11.

Z danych zawartych w Tabeli 3 widać, że w temperaturze  $-20^\circ\text{C}$  opory obracania są ponaddwukrotnie większe niż w temperaturze  $+20^\circ\text{C}$ . Zauważa się także istotny wpływ obciążenia promieniowego i prędkości obwodowej krążnika na jego opory obracania, zwłaszcza w temperaturze  $-20^\circ\text{C}$ . Przeprowadzone badania potwierdziły poprawność działania stanowiska oraz przyjętej metody pomiarów, a zastosowanie „nożowego” podparcia uchylnej ramki pozwoliło uzyskać pomijalnie małe jej opory obracania i dzięki temu większą dokładność pomiarów oporu obracania krążników. Wyniki pomiarów wskazują, że opór

obracania krążnika nowej konstrukcji jest nawet do 40% niższy w porównaniu z oporem obracania krążników dotąd stosowanych.

**Tabela 1. Uśrednione wyniki pomiarów oporu obracania krążnika  $\phi 133 \times 465$  mm**

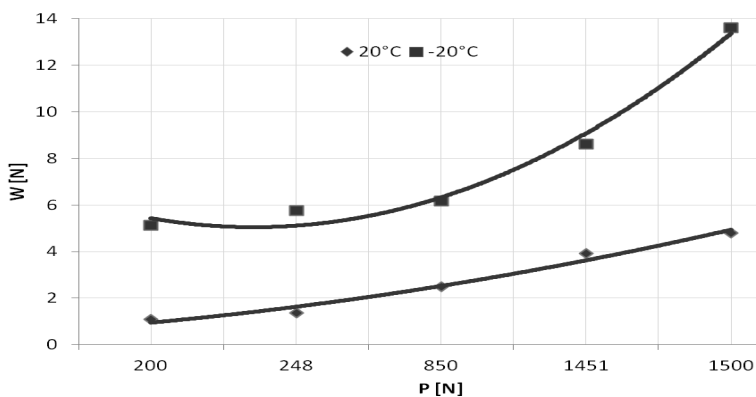
Table 1. Averaged results of idler  $\phi 133 \times 465$  mm tests

Lp.	Obciążenie $P$ [N]	Prędkość $v$ [m/s]	Temperatura otoczenia krążnika			
			+20°C	0°C	-10°C	-20°C
			Opory obracania $W$ [N]			
1	248	1,25	1,028	1,931	2,201	4,039
2	248	4,66	1,437	3,235	3,393	7,571
3	1451	1,25	4,183	7,478	7,265	13,378
4	1451	4,66	5,122	5,899	9,379	12,076
5	200	2,95	1,085	2,566	3,043	5,125
6	1500	2,95	4,794	5,338	10,615	8,855
7	850	0,53	1,865	2,054	3,115	4,934
8	850	5,38	2,165	3,818	5,122	6,278
9	850	2,95	2,959	2,987	2,919	5,247
10	850	2,95	3,073	1,874	3,074	6,755
11	850	2,95	2,064	2,755	3,444	6,385
12	850	2,95	2,463	2,335	4,165	6,459
13	850	2,95	1,947	1,743	4,170	6,043
14	850	1,25	2,275	–	–	4,633
15	850	4,66	2,338	–	–	6,951
16	248	2,95	1,369	–	–	5,768
17	1451	2,95	3,917	–	–	13,612

**Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów oporu obracania krążnika  $W$  przy prędkości  $v = 2,95$  m/s**

Table 2. Results of idler rolling resistance  $W$  tests at  $v = 2,95$  m/s

$v = 2,95$ [m/s]		
$P$ [N]	Temperatura otoczenia krążnika	
	+20°C	-20°C
Opór obracania krążnika $W$ [N]		
200	1,085	5,125
248	1,369	5,768
850	2,501	6,178
1451	3,917	8,621
1500	4,794	13,612

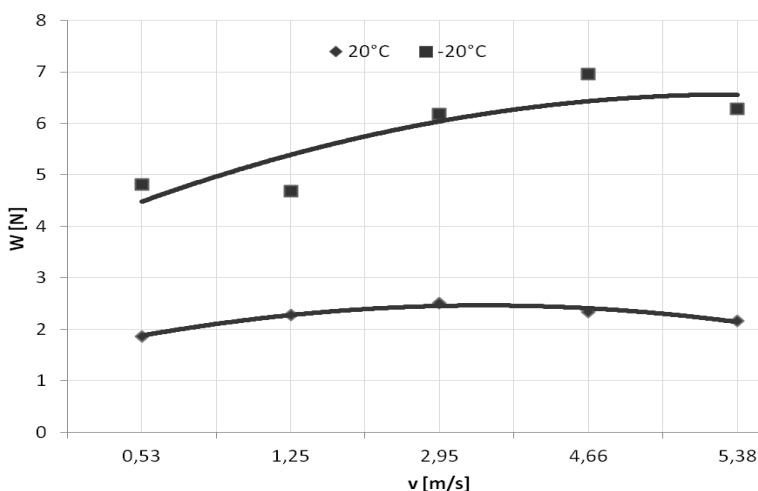


Rys. 8. Wykres zależności  $W = f(P)$  przy prędkości obwodowej krążnika  $v = 2,95$  m/s  
 Fig. 8. Chart of  $W = f(P)$  dependence at idler speed  $v = 2.95$  m/s

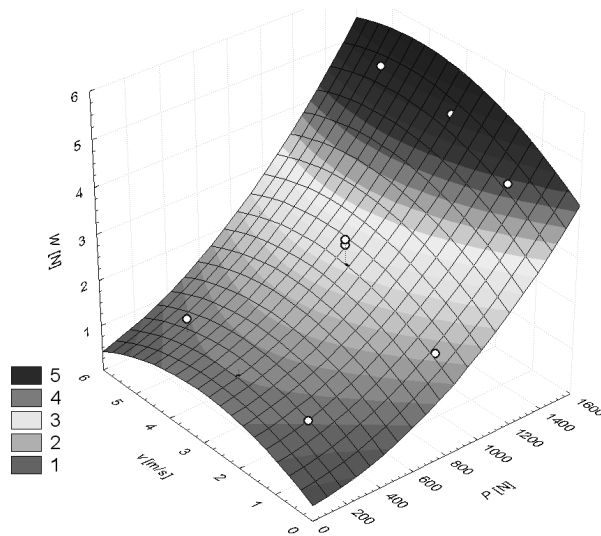
Tabela 3. Zestawienie wyników pomiarów oporu obracania krążnika  $W$  przy obciążeniu  $P = 850$  N

Table 3. Results of idler rolling resistance  $W$  tests at load  $P = 850$  N

Obciążenie $P = 850$ [N]		
$v$ [m/s]	Temperatura	
	+20°C	-20°C
Opór obracania krążnika $W$ [N]		
0,53	1,865	4,808
1,25	2,275	4,682
2,95	2,501	6,178
4,66	2,338	6,951
5,38	2,165	6,278

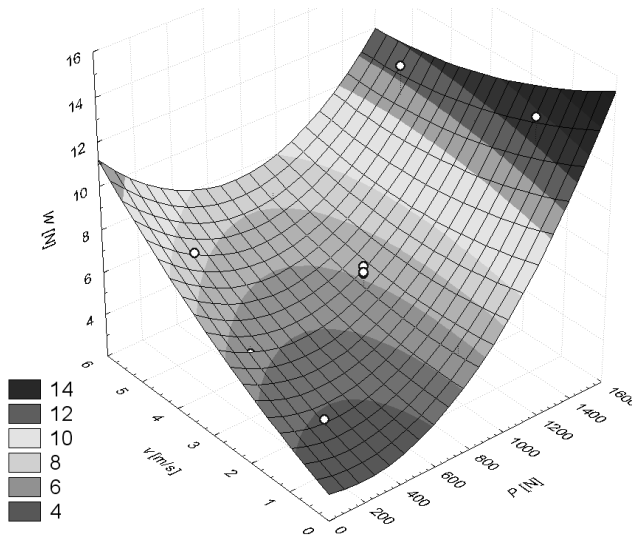


Rys. 9. Wykres zależności  $W = f(v)$  przy obciążeniu krążnika  $P = 850$  N  
 Fig. 9. Chart of  $W = f(v)$  dependence at idler load  $P = 850$  N



Rys. 10. Wykres zależności  $W = f(P, v)$  przy temperaturze otoczenia równej  $+20^{\circ}\text{C}$

Fig. 10. Chart of  $W = f(P, v)$  at ambient temperature  $+20^{\circ}\text{C}$



Rys. 11. Wykres zależności  $W = f(P, v)$  przy temperaturze otoczenia równej  $-20^{\circ}\text{C}$

Fig. 11. Chart of  $W = f(P, v)$  at ambient temperature  $-20^{\circ}\text{C}$

## BADANIA EKSPLOATACYJNE KRĄŻNIKÓW

Dla celów badań kopalnianych wykonano wg nowego rozwiązania krążniki w trzech wersjach konstrukcyjnych (Rys. 2b):

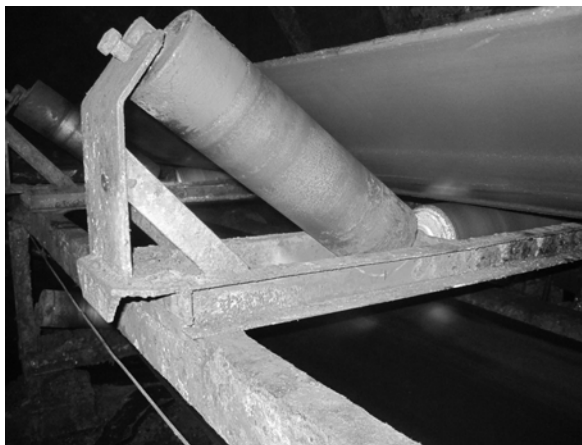
- 1) z płaszczem stalowym gładkim (krążnik środkowy),

- 2) z płaszczem stalowym z warstwą twardego poliuretanu o niskim współczynniku tarcia (krążnik pierwszy od lewej),
- 3) z płaszczem stalowym z warstwą twardego poliuretanu o dużym współczynniku tarcia (krążnik trzeci od lewej).

Zastosowanie okładzin na tych krążnikach ma na celu radykalne ograniczenie w warunkach kopalń podziemnych korozji stalowych płaszczy krążników, co jest istotne ze względów ekonomicznych i eksploatacyjnych, a także hałasu generowanego uderzeniami stalowych złączy taśm. Zastosowanie twardej okładziny poliuretanowej o niskim współczynniku tarcia ma za zadanie zmniejszyć opory toczenia krążnika po taśmie, a zastosowanie okładziny o dużym współczynniku tarcia ma zapewnić skuteczniejsze centrowanie taśmy krążnikami, przy mniejszych kątach ich wyprzedzenia i dodatkowych oporach [L. 5, 8].

Przedmiotowe krążniki poddano badaniom w Kopalni Węgla Kamiennego PIAST na poziomie 650 m w przenośniku taśmowym (Rys. 12) o następujących parametrach:

- wydajność 8 000 Mg/dobę,
- czas pracy 20 h/dobę,
- długość przenośnika 1040 m,
- prędkość taśmy 4 m/s,
- szerokość taśmy 1,2 m,
- kąt nachylenia trasy 0°.



**Rys. 12. Widok dwu podpór z badanymi w kopalni krążnikami**

Fig. 12. View of two idlers sets during underground tests

Krążniki te pracowały w trudnych warunkach (zapylenia i dużego zawilgożenia) nieprzerwanie przez 7 miesięcy i nie wykazały nieprawidłowości pracy.

## PODSUMOWANIE

Przedstawione nowe rozwiązanie krążnika wychodzi naprzeciw aktualnym tendencjom i zapewnia mniejszą jego masę oraz niższe (nawet do 40%) opory obracania, które mają istotny wpływ na energochłonność przenośnika taśmowego. Specjalne stanowisko oraz przyjęta metoda pomiarów oporów obracania tych krążników okazały się właściwe, a uzyskane z badań wyniki wskazują na istotny wpływ na te opory obciążenia promieniowego i prędkości krążnika oraz temperatury otoczenia. Konstrukcja stanowiska umożliwia badania oporu obracania krążników o różnych rozmiarach z uwzględnieniem w szerokim zakresie wpływu wyżej wymienionych czynników. Uzyskane dotąd wyniki wskazują, że celowym wydaje się przeprowadzenie badań większej liczby takich krążników w warunkach kopalnianych dla oceny rzeczywistej ich trwałości oraz przydatności w górniczych przenośnikach taśmowych.

*Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego 7062/B/T02/2011/40.*

## LITERATURA

1. Antoniuk J.: Energooszczędne górnicze przenośniki taśmowe. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2010, s. 1054–1069.
2. Furmanik K., Wieloch S.: Propozycja nowego rozwiązania krążnika. Transport przemysłowy i maszyny robocze, Nr 3(9)/2010, s. 13–15.
3. Furmanik K., Kasza P.: Mobilne stanowisko do badania oporów obracania krążników niekonwencjonalnej konstrukcji. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze. Nr 1(19) 2013, s. 17–20.
4. Furmanik K., Paszek K.: Analiza wytrzymałościowa krążnika niekonwencjonalnej konstrukcji z wykorzystaniem MES. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze. Nr 3(21) 2013, s. 31–35.
5. Gładysiewicz L.: Przenośniki taśmowe. Teoria i obliczenia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
6. Gładysiewicz L., Król R.: Badania wpływu warunków eksploatacyjnych na opory obracania krążników. Transport Przemysłowy 2(7)/2002, s. 5–7.
7. Polański Z.: Planowanie doświadczeń w technice. Warszawa, 1984.
8. Żur T., Hardygóra M.: Przenośniki taśmowe w górnictwie. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1996.

## Summary

**An important and actual task is to reduce energy consumption of belt conveyors in mining industry, also through reducing rolling resistances of idlers. This paper presents a new solution of idler with much lower rolling resistances than solutions used in belt conveyors so far, special stand for testing, and the results, and also information about tests in underground conditions.**