

Badania możliwości zwiększenia efektywności pracy przenośnika taśmowego poprzez wymianę podstawowych elementów transportowych

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących określania wpływu zmiany wybranych parametrów fizycznych podstawowych elementów transportowych przenośnika taśmowego (taśma i krążniki) na sprawność elektryczną i poziomy poboru mocy czynnej przez układ napędowy, a także zaprezentowano oszacowane wartości wypadkowych oporów ruchu wpływających na wartość strat mocy i dynamikę pracy urządzenia.

1. WSTĘP

Z badań eksploatacyjnych wynika, że pewna część zainstalowanej mocy czynnej napędu przenośników taśmowych, stosowanych w kopalniach odkrywkowych, jest tracona podczas pracy jałowej (bez obciążenia). Zależy to przede wszystkim od konstrukcji przenośnika, jego długości i struktury oraz sposobu napędzania i zawiera się w granicach od 15% aż do około 40% wartości mocy zainstalowanej silników układu napędowego. Zużywana jest ona przede wszystkim na pokonanie oporów ruchu krążników, taśmy oraz wszystkich przekładni mechanicznych sprzęgających silniki z bębnami napędowymi [2, 3]. Zatem zmiana określonych parametrów fizycznych krążników (np. siła tarcia, przewodność cieplna) czy taśmy (np. sprężystość, grubość, siła tarcia), będących podstawowymi mechanicznymi elementami transportowymi przenośnika taśmowego, może w dość znacznym stopniu wpłynąć na zwiększenie jego efektywności pracy (w sensie sprawności elektrycznej) oraz zmianę dynamiki działania, zwłaszcza w stanach przejściowych rozruchu czy procesu hamowania.

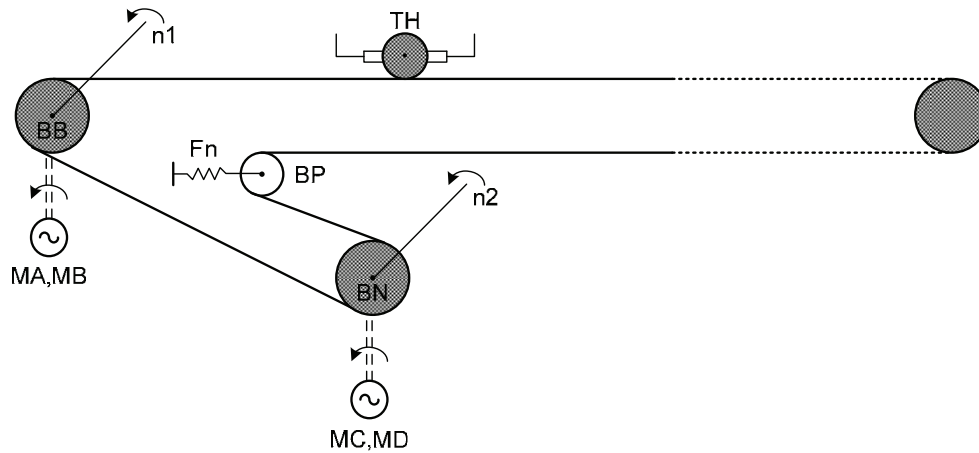
W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu wprowadzonych zmian materiałowych i konstrukcyjnych krążników oraz taśmy na sprawność elektryczną

i wartość poboru mocy czynnej układu napędowego oraz na dynamikę pracy przenośnika taśmowego w różnych warunkach – zarówno obciążenia, jak i środowiskowych. Sformułowano odpowiednie wnioski praktyczne.

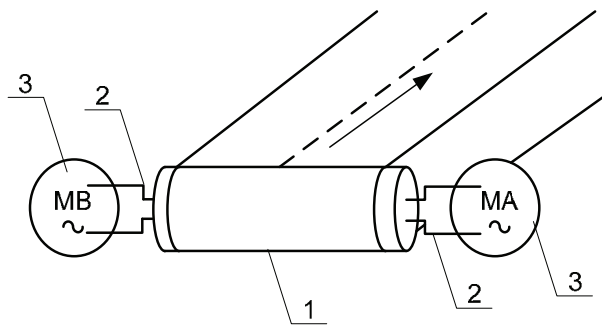
2. OBIEKT BADAŃ ORAZ ZAKRES I SPOSÓB PRZEPROWADZANIA POMIARÓW

Do badań wybrano dwa kopalniane przenośniki taśmowe o zbliżonej długości (około 1500 m), identycznej szerokości taśmy (2,25 m), takim samym sposobie rozwiązania układu napędowego (dwubębnowy) i takiej samej wartości zainstalowanej mocy (cztery silniki asynchroniczne $2 \times 2 \times 1000$ kW). Uproszczony schemat sposobu napędzania przenośnika pokazano na rys. 1., zaś widok przenośnika od strony wału napędowego – na rys. 2.

Silniki napędowe zasilano z sieci trójfazowej o napięciu 6 kV i częstotliwości 50 Hz. Wyposażone były one w tradycyjny, rezystancyjny, sterowany czasowo pięciostopniowy układ rozruchowy. Wartości rezystancji dobrano w taki sposób, aby poszczególne stopnie rozruchowe zapewniały odpowiedni przebieg charakterystyk mechanicznych poszczególnych silników, powodując przemieszczanie się wartości mo-



Rys. 1. Uproszczony schemat stacji napędowej przenośnika; MA, MB – silniki napędowe bębna górnego; MC, MD – silniki napędowe bębna dolnego; BB, BN – bębny napędowe, $n1$, $n2$ – prędkości obrotowe; F_n – siła napinająca taśmę, TH – czujnik indukcyjny do pomiaru prędkości liniowej taśmy (opracowanie własne)



Rys. 2. Widok przenośnika od strony wału napędowego; 1 – bęben napędowy górny, 2 – przekładnia mechaniczna, 3 – silniki napędowe MA i MB (opracowanie własne)

mentu krytycznego w kierunku mniejszych prędkości obrotowych podczas rozruchu. Należy podkreślić, że czasy zwierania poszczególnych stopni rozruchowych mają bezpośredni wpływ na wartość momentu elektromagnetycznego poszczególnych silników, a zatem również na wartość wypadkowego momentu dynamicznego, decydującego o przyspieszeniach kątowych wpływających na przebiegi dynamiczne wartości wielkości mechanicznych zarówno w układzie napędowym, jak i w taśmie przenośnika taśmowego, w tym głównie podczas rozruchu. Wał górnego bębna (zrzutowego) napędzany silnikami MA i MB (rys. 2), natomiast dolnego – silnikami MC i MD odpowiednio. Analiza nastawionych wartości czasu zwierania poszczególnych stopni rozruszników wskazuje, że jeden z silników (MD) napędzający bęben dolny pracował najkrócej na charakterystyce z największym momentem rozruchowym, zaś silnik MA bębna napędowego górnego – najdłużej. Taki sposób rozkładu wartości momentów rozruchowych silników wpływa bezpośrednio na rozkład obciążeń (naciągu) taśmy jako całości, a przede wszystkim w jej odcinku pomiędzy górnym i dolnym bębniem

napędowym, tworząc efekt elastycznego, pulsującego „sprzęgła”. Należy również podkreślić, że jeżeli dwa silniki o różnych przebiegach charakterystyk mechanicznych napędzają jeden bęben napędowy, to wytwarzają się również warunki do powstawania niebezpiecznych wartości momentów skręcających na wale bębna, czego rezultatem mogą być przyspieszone procesy zmęczeniowe materiału wałów zarówno bębna, jak i silnika. Różnice w momentach występują również w sytuacji, gdy charakterystyki mechaniczne silników są takie same, ale występują różne czasy przełączania kolejnych stopni rozruszników.

Głównym celem przeprowadzonych badań było dokonanie porównań związanych z efektywnością i dynamiką pracy przenośnika taśmowego podczas wymiany zarówno typu krążników, jak i rodzaju taśmy – dotyczy to badań pozwalających na określenie tak stanu wyjściowego (przed dokonanymi zmianami), jak również badań tych samych wielkości fizycznych po każdorazowym wprowadzeniu zamierzonych zmian. W jednym z przenośników zmiany te polegały na dwukrotnej wymianie taśmy, z dotychczasowej taśmy „standardowej” na taśmę „firmy A”,

a w kolejnym etapie – na taśmę „firmy B”, z zachowaniem tych samych, standardowych krążników. W drugim zaś przenośniku – na wymianie aktual-

nie eksploatowanych „standardowych” krążników z płaszczem poliuretanowym (rys. 3), przy zachowaniu tej samej taśmy „standardowej”.



Rys. 3. Widok krążników z płaszczem poliuretanowym (opracowanie własne)

Zakres przedsięwzięcia obejmował:

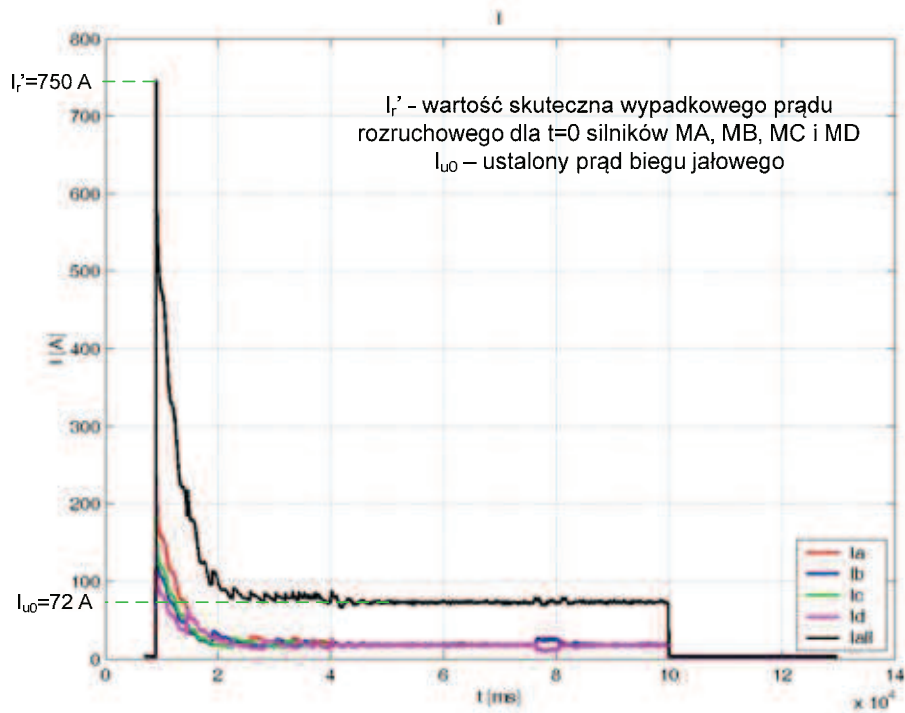
- ocenę wpływu rodzaju taśmy i krążników na pobór mocy czynnej przez układ napędowy zarówno na biegu jałowym, jak i przy obciążeniu (od 15 do ok. 70%),
- pomiary czasu trwania wybiegu przenośników na biegu jałowym i pod obciążeniem,
- badania wpływu czasu trwania eksploatacji na efektywność pracy układu napędowego i dynamikę przenośnika w zależności od rodzaju dokonanych zmian,
- rejestrację poboru mocy czynnej w okresie jednego miesiąca eksploatacji z uwzględnieniem zarówno warunków pogodowych, jak i stanu oraz rodzaju obciążenia przenośnika.

Pomiary i rejestrację wartości podstawowych wielkości elektrycznych, takich jak prądy obciążenia silników, napięcie zasilające, pobór mocy czynnej i biernej oraz wartości siły naciągu taśmy, wykonywano zarówno podczas normalnej pracy przenośnika (przy napędzaniu czterema silnikami obu bębnow), jak i w warunkach pracy awaryjnej z napędzaniem dwoma silnikami tylko jednego bębna, odpowiednio górnego lub dolnego. Po wyłączeniu zasilania przenośnika sprawdzano również prawidłowość i efektywność działania układów hamulcowych (bębnowych), mierząc prędkość taśmy oraz czas jej wyhamowywania aż do zatrzymania się przenośnika.

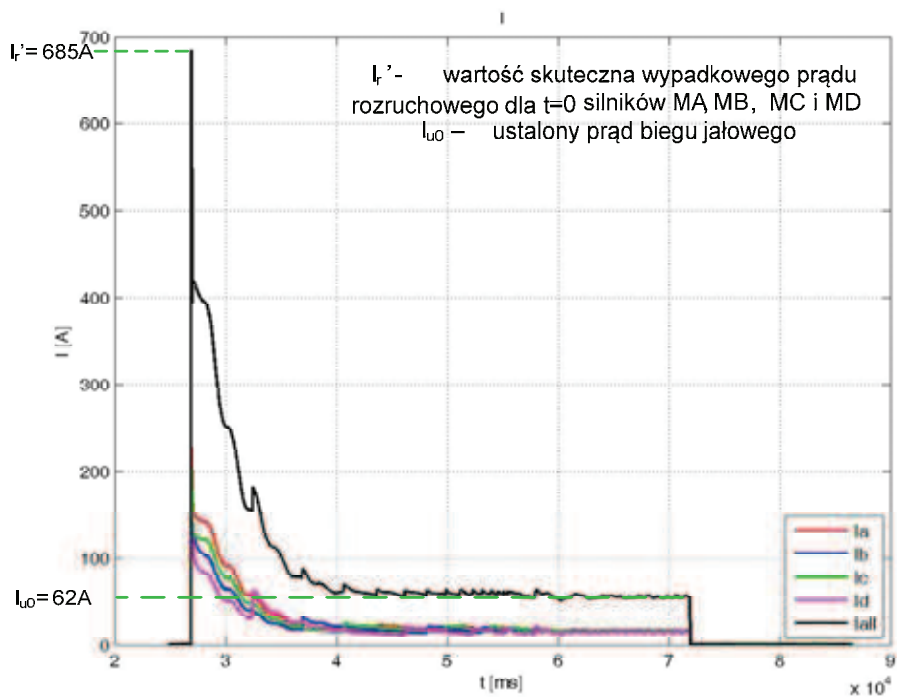
3. WYNIKI POMIARÓW

W przypadku przenośnika taśmowego, w którym zachowano krążniki standardowe, ale wymieniono taśmę standardową na nowy rodzaj taśmy, „firmy A” lub „firmy B”, stwierdzono, że najlepsze efekty uzyskano przy zastosowaniu taśmy „firmy B”. Porównania prądów obciążenia silników, mocy pobieranej przez układ napędowy oraz zmian wartości sił napinających taśmę podczas rozruchu, pracy ustalonej oraz hamowania dla taśm „standardowej” i „firmy B” w warunkach biegu jałowego można dokonać z przebiegów pokazanych na rys. 4-9.

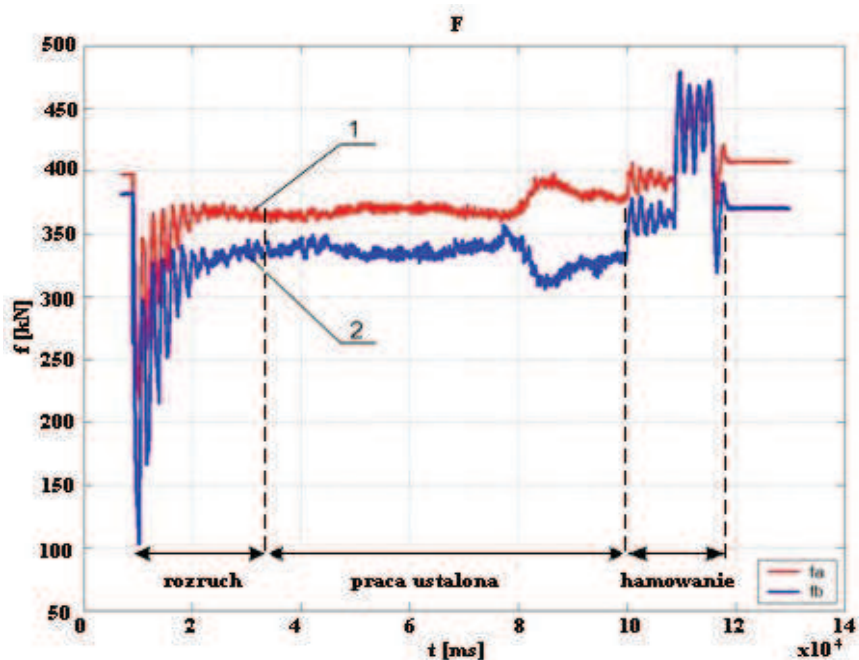
Z przeprowadzonych pomiarów zmian wartości sił napinających taśmę podczas rozruchu, pracy ustalonej i hamowania w stanie jałowym (bez obciążenia) przenośnika wynika, że charakter tych zmian jest podobny (rys. 6 i 7). Trudno więc na tej podstawie wnioskować o różnicach parametrów mechanicznych obu taśm, zwłaszcza o ich elastyczności. Przeprowadzone ponadto badania podczas biegu jałowego przenośnika taśmowego wykazały, że wartość wstępnej siły naciągu nie wpływa znacząco na pobór mocy przez układ napędowy. Należy w tym miejscu podkreślić, że podczas pracy przenośnika wartości sił naciągu zmieniają się odpowiednio do obciążenia i temperatury otoczenia [1, 4].



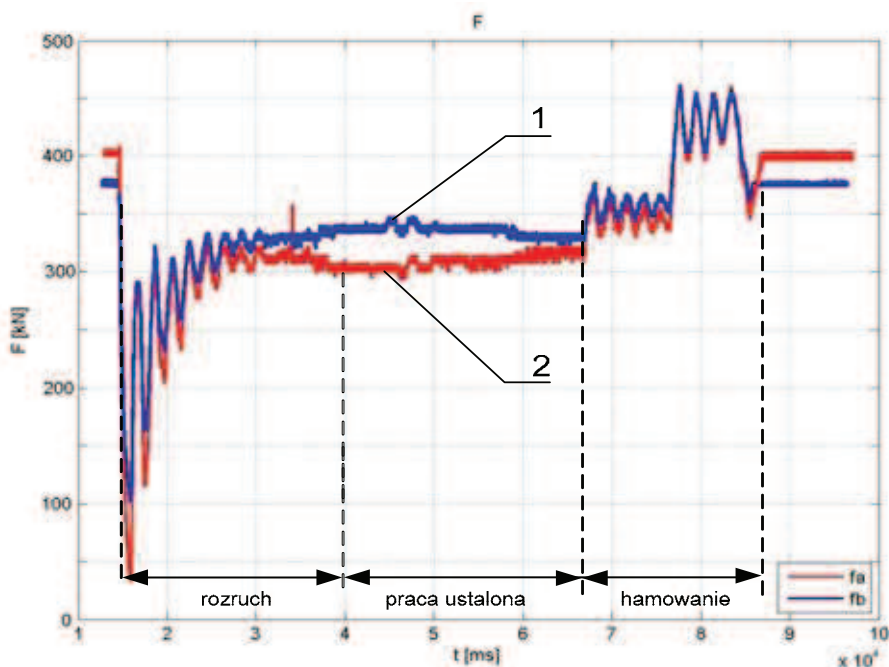
Rys. 4. Przebiegi wartości skutecznych prądów poszczególnych silników MA, MB, MC, MD oraz prądu wypadkowego (I_{all}) w jednej fazie dla przenośnika ze standardową taśmą i standardowymi krążnikami (stan jałowy, wstępny naciąg taśmy L-400, P-380 kN) (opracowanie własne)



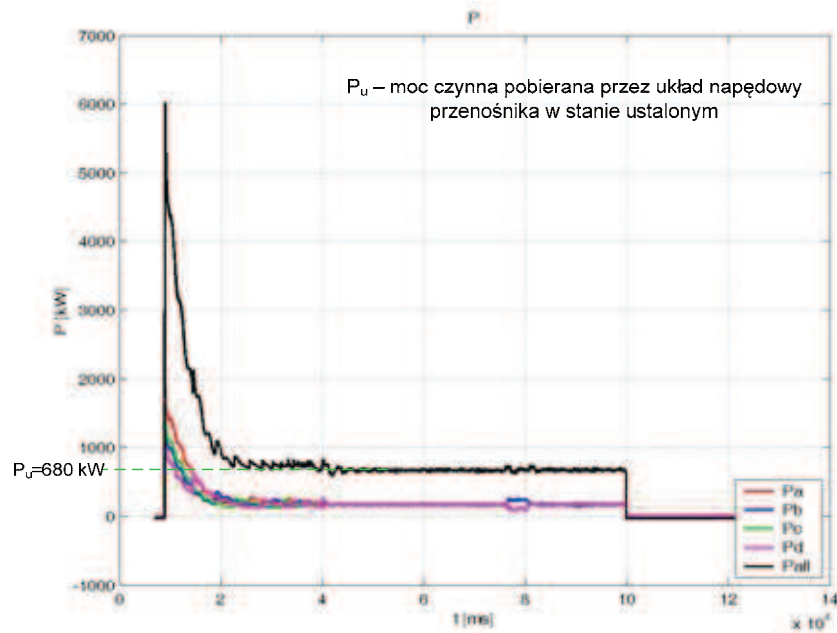
Rys. 5. Przebiegi wartości skutecznych prądów poszczególnych silników MA, MB, MC, MD oraz prądu wypadkowego (I_{all}) w jednej fazie dla przenośnika z taśmą „firmy B” i standardowymi krążnikami (stan jałowy, wstępny naciąg taśmy L-300, P-275 kN) (opracowanie własne)



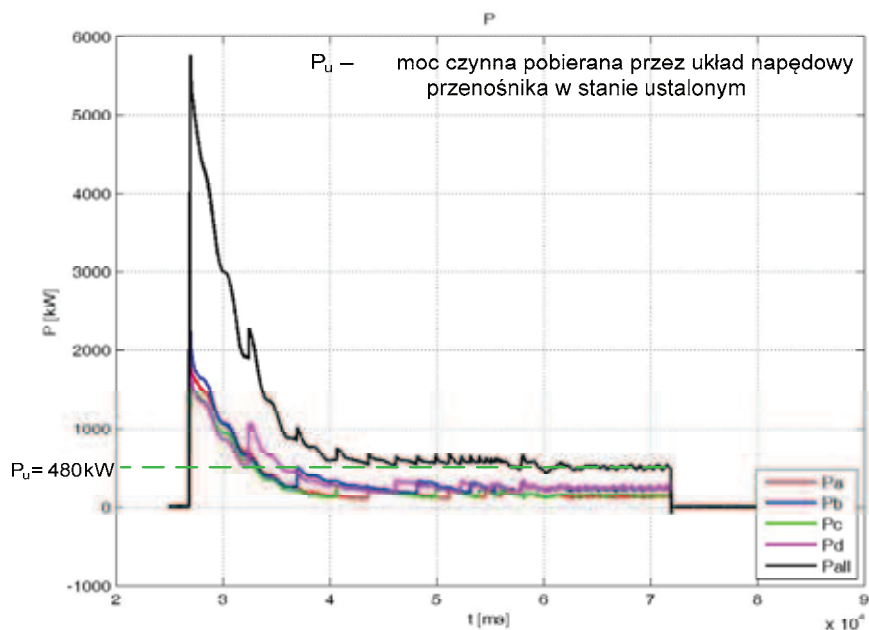
Rys. 6. Przebiegi zmian wartości siły napinającej taśmę standardową (krążniki standardowe) pomierzone po obu stronach konstrukcji mocującej bęben napinający (stan jałowy, 1 – strona lewa, 2 – strona prawa) (opracowanie własne)



Rys. 7. Przebiegi zmian wartości siły napinającej taśmę „firmy B” (krążniki standardowe) pomierzone po obu stronach konstrukcji mocującej bęben napinający (stan jałowy, 1 – strona lewa, 2 – strona prawa) (opracowanie własne)



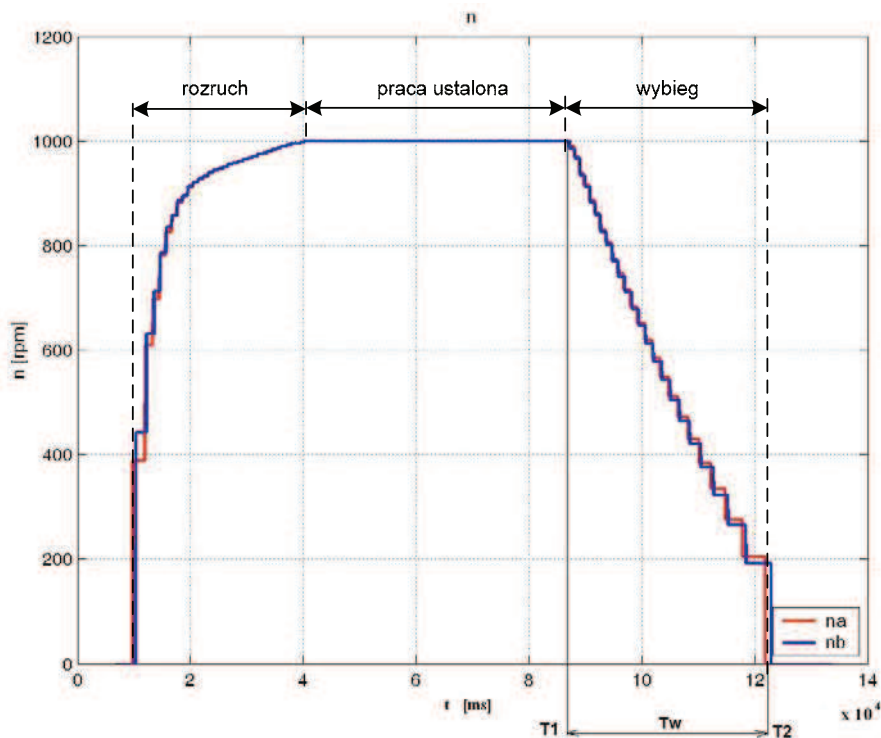
Rys. 8. Przebiegi mocy czynnej pobieranej przez poszczególne silniki MA, MB, MC, MD oraz mocy wypadkowej (P_{all}) dla przenośnika ze standardową taśmą i standardowymi krążnikami w stanie jałowym (opracowanie własne)



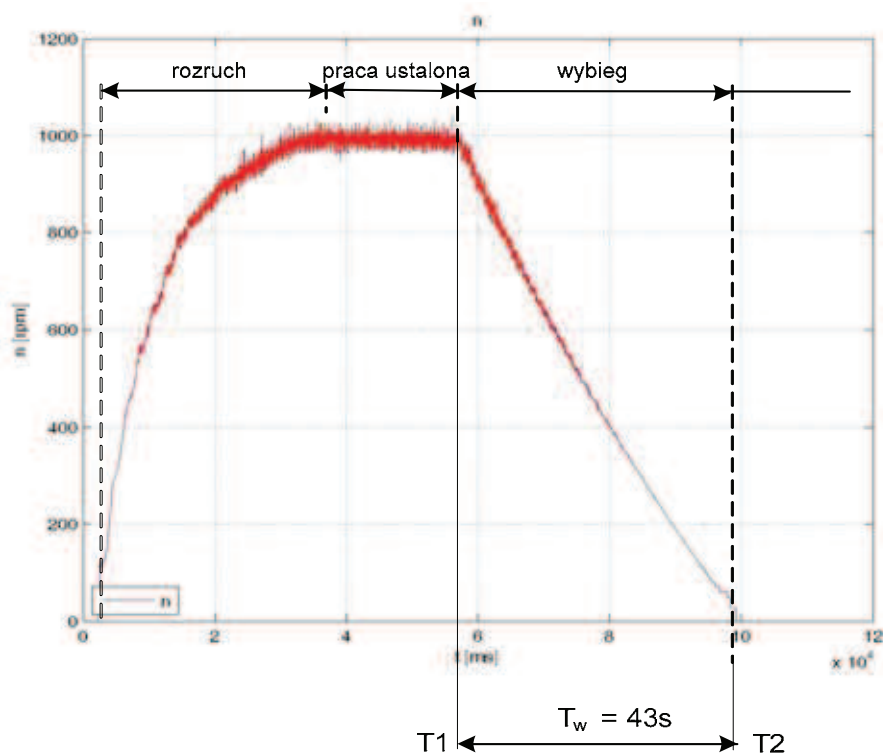
Rys. 9. Przebiegi mocy czynnej pobieranej przez poszczególne silniki MA, MB, MC, MD oraz mocy wypadkowej (P_{all}) dla przenośnika z taśmą „firmy B” i standardowymi krążnikami w stanie jałowym (opracowanie własne)

Przyjmując, że głównym kryterium oceny wpływu dokonanych zmian jest wartość pobranej mocy czynnej w stanie ustalonym przez układ napędowy przenośnika oraz czas trwania wybiegu podczas biegu jałowego, można stwierdzić, że wymiana taśmy standardowej na taśmę „firmy B” przy tych samych standardowych krążnikach spowodowała obniżenie wartości pobieranej mocy czynnej przez

układ napędowy o około 29% (rys. 8 i 9). Na rysunkach 10. i 11. pokazano przebiegi zmian prędkości obrotowej na wale bębna napędzanego silnikami MA i MB podczas rozruchu, pracy ustalonej i wybiegu (hamulce bębnowe zablokowane) odpowiednio dla tego samego przenośnika z taśmą standardową i taśmą „firmy B”, przy zachowaniu tych samych krążników standardowych.



Rys. 10. Przebiegi prędkości obrotowej wału bębna napędzanego silnikami MA i MB dla przenośnika ze standardową taśmą i standardowymi krążnikami w stanie jałowym (bez obciążenia); T_1 – chwila wyłączenia zasilania, T_2 – chwila zatrzymania się przenośnika, T_w – czas trwania wybiegu (36 sekund) (opracowanie własne)



Rys. 11. Przebiegi prędkości obrotowej wału bębna napędzanego silnikami MA i MB dla przenośnika z taśmą „firmy B” i standardowymi krążnikami w stanie jałowym (bez obciążenia); T_1 – chwila wyłączenia zasilania, T_2 – chwila zatrzymania się przenośnika, T_w – czas trwania wybiegu (43 sekundy) (opracowanie własne)

Z porównania wartości czasów wybiegu wynika, że czas trwania wybiegu po zastosowaniu taśmy „firmy B” przy tych samych krążnikach standardowych wydłużył się o ok. 20%. Świadczy to o zmniejszeniu się oporów ruchu w porównaniu do taśmy standardowej.

Wpływ wymiany krążników standardowych na krążniki z płaszczem poliuretanowym określono również na podstawie porównania wartości wypadkowej mocy czynnej P_{u0} , pobieranej przez układ napędowy podczas biegu jałowego, oraz czasu trwania wybiegu T_w , co zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

Zestawienie wartości wypadkowej mocy czynnej P_{u0} i czasu trwania wybiegu T_w przenośnika dla stanu jałowego (taśma standardowa) (opracowanie własne)

	Krążniki standardowe	Krążniki z płaszczem poliuretanowym	
		badania przeprowadzone bezpośrednio po wymianie krążników	badania przeprowadzone po 4-miesięcznym okresie eksploatacji krążników
P_{u0} [kW]	550	786	550
T_w [s]	53,8	35,4	51,0

Z porównania danych zamieszczonych w tabeli 1. wynika, że bezpośrednio po wymianie starych krążników metalowych na krążniki „nowe” z płaszczem poliuretanowym warunki pracy przenośnika, z uwagi na wzrost oporu ruchów krążników, uległy pogorszeniu. Potwierdzają to wyniki pomiarów zarówno wartości pobieranej mocy czynnej przez układ napędowy przenośnika, jak i czasu trwania wybiegu przenośnika nieobciążonego.

Dane te pokazują, że czas trwania wybiegu bezpośrednio po wymianie krążników zmalał do wartości 35,4 s w porównaniu do czasu wybiegu dla krążników standardowych, który wynosił 53,8 s, co stanowi skrócenie czasu trwania wybiegu o około 30%. Wypadkowa moc czynna pobierana przez układ napędowy przenośnika wzrosła również odpowiednio z 550 do 786 kW, co stanowi wzrost o ok. 50%.

Po kilkumiesięcznej eksploatacji przenośnika z nowymi krążnikami stwierdzono znaczne zmniejszenie oporów ruchu (dotarcie krążników). Potwierdzeniem tego jest zmniejszenie wartości poboru mocy czynnej przez układ napędowy do wartości porównywalnej do warunków istniejących przed wymia-

ną krążników, tj. do 550 kW. Również czas trwania wybiegu przenośnika nieobciążonego osiągnął wartość praktycznie taką samą, jak w przypadku pracy przenośnika z tradycyjnymi krążnikami metalowymi.

Potwierdzenie pełnej przydatności nowych krążników z płaszczem poliuretanowym współpracujących z tradycyjną taśmą może być dokonane po zdecydowanie dłuższym okresie eksploatacji, pozwalającym na ocenę wpływu zarówno czasu pracy, warunków klimatycznych, jak i stanu obciążenia przenośnika (wpływającego na zmianę oporów ruchu podczas pracy latem i zimą). Należy w tym miejscu nadmienić, że wartości temperatur zewnętrznych płaszcza poliuretanowego krążników były wyższe w porównaniu do temperatury zewnętrznej powierzchni tradycyjnych krążników.

Zestawienie wartości wypadkowej mocy czynnej P_{u0} oraz czasu trwania wybiegu T_w dla stanu jałowego przenośnika ze standardowymi krążnikami, ale z taśmą „firmy A” i „firmy B”, zamieszczono w tabeli 2. (dla danej temperatury otoczenia T_0 w dniu pomiarów).

Tabela 2.

Zestawienie wartości mocy czynnej oraz czasu wybiegu dla stanu jałowego przenośnika ze standardowymi krążnikami i taśmą „firmy A” oraz „firmy B” (opracowanie własne)

	Taśma standardowa	Taśma „firmy A”			Taśma „firmy B”		
		badania przeprowadzone bezpośrednio po wymianie taśmy	badania przeprowadzone po 4-miesięcznym okresie eksploatacji taśmy	badania przeprowadzone po 12-miesięcznym okresie eksploatacji taśmy	badania przeprowadzone bezpośrednio po wymianie taśmy	badania przeprowadzone po 4-miesięcznym okresie eksploatacji taśmy	badania przeprowadzone po 12-miesięcznym okresie eksploatacji taśmy
P_{u0} [kW]	680	820	610	650	480	580	480
T_w [s]	36	41	42	42	56	43	53
T_0 [°C]	21	9	22	8	22	9	26

W odniesieniu do taśmy „firmy A” można stwierdzić, że bezpośrednio po jej założeniu nastąpił ewidentny wzrost wartości pobieranej mocy przez układ napędowy o ok. 20%, natomiast po okresie 4-miesięcznej i 12-miesięcznej eksploatacji moc ta zmalała o ok. 5% w stosunku do mocy pobieranej przez układ napędowy podczas eksploatacji taśmy standardowej. Z przeprowadzonych badań wynika, że po krótszym (4-miesięcznym) okresie eksploatacji uzyskano lepsze efekty niż po 12-miesięcznej pracy (różnica wynosi ok. 5%). Biorąc jednak pod uwagę błąd pomiarowy ($\leq 5\%$) i nieidentyczność warunków pogodowych, zwłaszcza temperatury powietrza mającej wpływ na parametry mechaniczne taśmy i jej elastyczność, można przyjąć, że uzyskany efekt obniżenia się poboru wypadkowej mocy czynnej podczas biegu jałowego jest dla tej taśmy nie mniejszy niż 5%.

Czas trwania wybiegu bezpośrednio po wymianie taśmy wzrósł w porównaniu do czasu wybiegu dla taśmy standardowej o 5 sekund, co oznacza, że zmalały opory ruchu układu mechanicznego przenośnika. Przeprowadzone ponowne pomiary, po okresie 12-miesięcznej eksploatacji taśmy, wykazały, że czas wybiegu nie uległ zmianie, co oznacza, że nie zmieniły się opory ruchu. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż bezpośrednio po wymianie taśmy badanie było prowadzone w stosunkowo niskiej temperaturze otoczenia, wynoszącej ok. $+9^{\circ}\text{C}$. Po 4-miesięcznym zaś okresie eksploatacji pomiary wykonano w znacznie wyższej temperaturze otoczenia (ok. 22°C), co niewątpliwie ma wpływ na parametry mechaniczne taśmy.

W odniesieniu do taśmy „firmy B” przeprowadzone badania dowodzą, że bezpośrednio po wymianie taśmy „firmy A” na taśmę „firmy B” moc pobierana przez układ napędowy na biegu jałowym wynosiła ok. 480 kW, natomiast po 4-miesięcznym okresie eksploatacji moc ta wzrosła do 580 kW. W odniesieniu do taśmy standardowej widoczny jest spadek poboru mocy o ok. 100 kW. Po okresie 12-miesięcznej eksploatacji taśmy „firmy B” wartość mocy pobieranej przez układ napędowy ponownie zmalała do wartości wyjściowej, wynoszącej 480 kW. W porównaniu do taśmy standardowej nastąpiło zmniejszenie poboru mocy o około 30%. Pobierana moc czynna zmalała również w porównaniu do taśmy „firmy A” o ok. 26%.

4. UWAGI I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników można zauważyć, że:

- wymiana krążników metalowych na krążniki z płaszczem poliuretanowym nie spowodowała praktycznie żadnej zmiany w zarejestrowanych oporach ruchu. Pobór mocy czynnej podczas biegu jałowego i czas wybiegu dla nieobciążonego przenośnika są porównywalne. Zdaniem autorów pozytywną cechą w dłuższym okresie eksploatacji krążników z płaszczem poliuretanowym może być wydłużenie czasu ich eksploatacji, wymaga to jednak weryfikacji w warunkach rzeczywistych;
- taśma „firmy A” wykazuje lepsze parametry mechaniczne w odniesieniu do taśmy standardowej, co pokazują wyniki badań poboru mocy czynnej i czasu trwania wybiegu po 4- i 12-miesięcznym okresie eksploatacji. Należy podkreślić, że uzyskane efekty wynikające ze zmniejszenia poboru mocy czynnej przez układ napędowy przenośnika nie są znaczne;
- taśma „firmy B” wykazuje zdecydowanie najlepsze parametry mechaniczne w porównaniu z taśmami standardową i „firmy A”. Potwierdzają to wyniki badań poboru mocy czynnej przez układ napędowy nieobciążonego przenośnika taśmowego oraz czasu wybiegu. Odnosi się to do badań dokonanych zarówno bezpośrednio po wymianie taśmy, jak i po 4- i 12-miesięcznym okresie eksploatacji.

Można więc stwierdzić, że zastosowanie taśmy „firmy B” przy tych samych krążnikach standardowych pozwala na uzyskanie znaczących oszczędności ekonomicznych wynikających z wydatnie zmniejszonego poboru mocy czynnej przez układ napędowy przenośnika.

Literatura

1. Augustynowicz J., Babiarczyk S., Dudek D., Figiel A.: *Zagrożenia katastrofalne maszyn podstawowych wywołane niewłaściwą eksploatacją przenośników taśmowych*. „Transport Przemysłowy”, 2006, nr 4, s. 44-47.
2. Gładysiewicz L.: *Przenośniki taśmowe. Teoria i obliczenia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
3. Hardygóra M., Wachowicz J., Czaplicka-Kolarz K., Makusik S.: *Taśmy przenośnikowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Fundacja „Książka Naukowo-Techniczna”, Warszawa 1999.
4. Solarczyk W., Habrych M.: *Układ sterowania hamulców tarczowych przenośnika taśmowego*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2009, nr 7, s. 120-124.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.