

Aleksander LUTYŃSKI, Stanisław TYTKO  
Politechnika Śląska, Gliwice

## EKONOMICZNE ASPEKTY STOSOWANIA PRZEMIENNIKÓW CZĘSTOTLIWOŚCI W NAPĘDACH PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH

**Streszczenie.** W referacie zaprezentowane zostały wyniki badań trwałości wybranych elementów nowoczesnych przenośników taśmowych wyposażonych w napędy z przemiennikami częstotliwości. Podano też efekty ekonomiczne wynikające ze stosowania tych napędów. Badania i analiza przeprowadzone zostały na przykładzie Kopalni Węgla Kamiennego „Anna” i dotyczyły okresu eksploatacji przenośników od 1996 r.

## ECONOMIC ASPECTS OF THE APPLICATION OF FREQUENCY CONVERTERS IN BELT CONVEYOR DRIVES

**Summary.** The paper presents results of the endurance tests of selected elements of modern belt conveyors the drives of which are furnished with frequency converters. Economic effects resulting from the application of the drives have been also enumerated. The tests and the analysis have been carried out on the conveyors being in operation at the “Anna” Coal Mine since 1996.

### 1. Wstęp

Restrukturyzacja kopalń podziemnych węgla kamiennego zapoczątkowana przed kilku laty i przebiegająca w niezwykle trudnych warunkach gospodarczych kraju wymusza na kierownictwach kopalń i spółek węglowych szereg działań mających na celu poprawę efektywności funkcjonowania zakładów górniczych. Jest to dostrzegane niemal w każdym ogniwie procesu produkcyjnego kopalni, a widocznymi przejawami są:

- doskonalenie istniejącej ścianowej techniki wydobywania w celu osiągnięcia dużej koncentracji wydobywania, wymaganej w procesie restrukturyzacji kopalń,
- wydłużanie czasu eksploatacji wydobywczo-transportowych systemów maszynowych kopalń,
- doskonalenie odstawy urobku ze ściany pod szyb wydobywczy,
- rozwój i doskonalenie mechanizacji robót przygotowawczych,
- doskonalenie transportu materiałów, maszyn i ludzi,

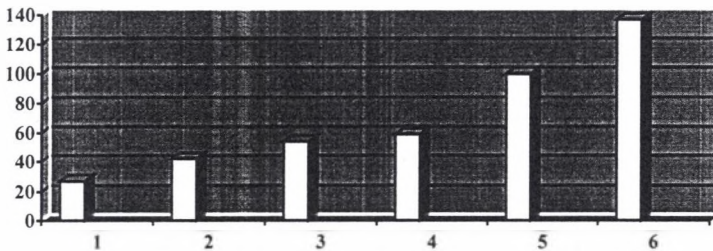
- poprawa bezpieczeństwa i higieny pracy załogi z uwzględnieniem wymagań związanych z ochroną środowiska.

Działania prowadzone w takim zakresie mają na celu zmniejszenie pracochłonności i obniżenie kosztów wydobycia, przy czym warunkiem koniecznym tych działań jest zachowanie odpowiedniej, wymaganej przez odbiorcę jakości przeznaczonego do sprzedaży węgla.

Koncentracja wydobycia pociąga za sobą konieczność przemieszczania na znaczne odległości wewnątrz zakładu górniczego zarówno pod ziemią, jak i na jego powierzchni, dużych mas urobku i skały płonnej w stosunkowo krótkim czasie, w skomplikowanych systemach odstawy. Wymusza to określone, bardzo wysokie wymagania stawiane środkom odstawy. Od przenośnika taśmowego instalowanego w kopalni podziemnej wymagamy dzisiaj nie tylko wysokiej wydajności, znacznej długości, wysokich mocy silników napędowych, ale także niskiego zużycia energii, obniżonego poziomu zużycia elementów, łagodnego rozruchu, dostosowania prędkości taśmy do jej aktualnego obciążenia urobkiem czy monitorowania stanów jego pracy.

Tak sformułowane wymagania w KWK „Anna” legły u podstaw wyposażenia w 1996 r. przenośnika taśmowego odstawy głównej w przemiennik częstotliwości PPC-2 pracujący w systemie sterowania PROMOS [1, 2].

W niniejszym referacie przedstawione zostaną wybrane efekty zastosowania tych rozwiązań ze szczególnym uwzględnieniem aspektów ekonomicznych. Na rys 1 przedstawiono koszty inwestycyjne jednostki napędowej 2x200 kW z różnym rozwiązaniem urządzenia łagodnego rozruchu.



Rys.1. Porównanie kosztów inwestycyjnych różnych wariantów napędów; 1 – sprzęgło hydrodynamiczne o stałym wypełnieniu, 2 – jeden z najtańszych krajowych rozruszników tyrystorowych, 3 – jeden z najdroższych krajowych rozruszników tyrystorowych, 4 - silniki z blokiem tyrystorowym, 5 – krajowy przemiennik częstotliwości, 6 – przykładowy zachodni przemiennik częstotliwości

Fig.1. Comparison of capital cost of different types of drives

W przypadku czterech pierwszych rozwiązań napędu realizowana jest tylko funkcja łagodnego rozruchu. Przemienniki częstotliwości znacznie rozszerzają możliwości funkcjonalne napędów.

## 2. Opis obiektu badań

Analizę, której wyniki zaprezentowano w niniejszym referacie, przeprowadzono na przenośnikach pracujących w systemie odstawy urobku na poz.1000m w KWK „Anna” od 04.05.1996 r. Układ przenośników w okresie od momentu uruchomienia ulegał istotnym zmianom. Związane to było ze zmianami frontów eksploatacyjnych tego poziomu. Pierwotny układ odstawy na tym poziomie opisano w [1]. Praktycznie od początku eksploatacji układu w identycznych warunkach pracowały dwa przenośniki tego samego typu. Parametry tych przenośników podano w tabl. 1. Do końca maja bieżącego roku przenośnikami tymi odstawiono 9141318 ton urobku brutto przy średnim jego zanieczyszczeniu ok. 30%.

Tablica 1

Parametry porównywanych przenośników taśmowych

Parametr	Przenośnik G I	Przenośnik G II
Typ przenośnika	GWAREK 1400	GWAREK 1400
Długość przenośnika, m	220	850
Prędkość taśmy, m/s	2,5	2,5
Moc napędów, kW	132	2 x 132
Napięcie zasilania, V	1000	1000
Nachylenie, stopnie	0	0
Wydajność maksymalna, t/h	1600	1600
Typ taśmy	PVG 1250/1 (DEPREUX)	PVG 1250/1 (DEPREUX)
Szerokość taśmy, mm	1400	1400
Grubość taśmy, mm	13 ±1,5	13 ±1,5
Grubość okładek, mm	2 + 3	2 + 3
Urządzenie sterujące	-	Przełącznik PPC-2

Napęd jednego z tych przenośników – GII był wyposażony w przemiennik częstotliwości PPC-2 firmy CARBOAUTOMATYKA S.A. Najistotniejszymi parametrami tego przemiennika są: bezstopniowa regulacja prędkości, napięcie zasilania – 1000 V, moc znamionowa 310 kVA, maksymalna sumaryczna moc silników sterowana przemiennikiem – 265 kW, liczba odplywów – 2, typ obudowy – IP54, rodzaj przemiennika – prądowy, płynny zakres regulacji częstotliwości – 2-70 Hz.

Algorytm działania układu automatycznej regulacji steruje napędem w taki sposób, aby przenośnik odbierający był optymalnie załadowany urobkiem. W tym celu wykorzystywane są sygnały, z zainstalowanych na przenośnikach podających, ultradźwiękowych czujników napełnienia taśmy urobkiem.

Minimalna uzyskiwana prędkość taśmy wynosiła 15% prędkości znamionowej.

## 3. Zakres badań i uzyskane wyniki

W pierwszej kolejności przeprowadzono analizę czasu, w którym pracował przenośnik z daną prędkością taśmy, dostosowując ją do potrzeb transportowanej strugi urobku. Pozwoliły

na to właściwości systemu automatyzacji sterowania przenośnikami taśmowymi odstawy, w tym i przemiennikiem częstotliwości. System PROMOS bowiem, monitorując pracę przenośników, posiadał możliwość sporządzania wykresu prędkości taśmy w czasie doby. Analiza kilkudziesięciu dobowych przebiegów prędkości pozwoliła na uzyskanie wyników, które zaprezentowane zostały w tabl. 2. Ustalone arbitralnie zakresy prędkości, dla których wyznaczano czasy pracy przenośnika, wyniosły od 0 do  $0,4 v_n$ ,  $0,4$  do  $0,6 v_n$  i  $0,6$  do  $1,0 v_n$ . W tablicy tej przedstawiono również podobne wyniki, które uzyskane zostały w kopalni Westfalen (Niemcy) [4] w analizie pracy przenośnika taśmowego z podobnym urządzeniem łagodnego rozruchu. W przypadku tamtej kopalni nieco inaczej wyznaczono zakresy prędkości taśmy, dla których zliczano czasy pracy.

Z przedstawionej analizy prędkości taśmy przenośnika wynika, że zastosowanie przemiennika częstotliwości spowodowało trzykrotne zmniejszenie ilości obiegów taśmy na przenośniku. Jest to istotna poprawa warunków pracy taśmy, która powinna mieć korzystny wpływ na jej trwałość.

Weryfikując to stwierdzenie dokonano badań taśmy przenośnikowej. Po okresie trzech lat użytkowania taśmy i po przetransportowaniu taśmą ok. 6,1 mln ton urobku w marcu 1999 r. wykonano pomiary jej grubości (w kilkunastu miejscach wzdłuż taśmy oraz w trzech miejscach na szerokości) oraz oznaczono wytrzymałość taśmy na rozciąganie wzdłuż osnowy. Badania te powtórzono po roku, w marcu 2000 r. po przetransportowaniu taśmą ok. 8,7 mln ton urobku. Obszarem największego zużycia ściernego taśmy okazała się jej część środkowa i ona będzie decydowała o momencie zdjęcia taśmy z przenośnika.

Tablica 2

Rozkład prędkości przenośnika taśmowego w czasie doby w KWK „Anna” i kopalni Westfalen

KOPALNIA WESTFALEN		KWK ANNA	
Zakres prędkości	Względny czas pracy, %	Względny czas pracy, %	Zakres prędkości
do $0,25 v_n$	47,6	53,3	do $0,4 v_n$
od $0,25$ do $0,6 v_n$	42,3	38,3	od $0,4$ do $0,6 v_n$
Od $0,6$ do $1,0 v_n$	10,1	8,6	od $0,6$ do $1,0 v_n$

Wartości średnie wyników badań taśmy przenośnika G II, wraz z wynikami uzyskanymi z badania taśmy pracującej na przenośnik G I, przedstawiono w tabl. 3.

Istotnym elementem oceny pracy przenośnika z przemiennikiem częstotliwości była analiza trwałości krążników zainstalowanych w jego gałęzi górnej (oznaczenie w tablicy g) i dolnej (d). Analizę wykonano na podstawie danych z miesięcznych raportów o wymianach krążników. W prezentowanej tabl. 4 przedstawiono wyniki tej analizy za okres roku 1999 i pięciu miesięcy roku bieżącego i dla porównania podano wyniki analizy trwałości krążników przenośnika G I. Na podstawie przedstawionych danych o wymianach wyznaczono trwałość krążników badanych przenośników.

Kolejnym, chyba najistotniejszym elementem oceny pracy przenośnika z przemiennikiem częstotliwości jest zużycie energii potrzebnej do transportu urobku. Dla potrzeb dokonania tej oceny wykonano układ pomiarowy pozwalający na pomiar energii czynnej pobieranej przy pracy napędu z przemiennikiem i przy obejściu przemiennika. Z przeprowadzonych w KWK „Anna” pomiarów poboru energii silników zasilanych z przemiennika częstotliwości wynika, że do przetransportowania jednej tony urobku z wykorzystaniem przemiennika częstotliwości zużywa się 0,324 kWh/t. Do przetransportowania tony urobku bez wykorzystania przemiennika częstotliwości, a więc dla pracy przenośnika ze stałą prędkością zużywa się 0,528 kWh/t. Można więc policzyć, że do przetransportowania 2,6 mln ton urobku w okresie od marca 1999 r. do marca 2000 r. przez zastosowanie przemiennika częstotliwości zużyto o 530000 kWh mniej.

Wszystkie podane wyniki analizy trwałości i zużycia energii oraz elementów są przeliczalne na konkretne efekty kosztowe. Łatwo jest dokonać takiego przeliczenia na podstawie kosztów własnych jednostki zainteresowanej w tego typu szacunkach. W referacie tym nie dokonano takich przeliczeń ze względu na różne ceny jednostkowe, np. nabywanych krążników, taśmy czy nawet energii. Wydaje się, że podane dane stanowią dobrą podstawę do wykonania takich wyliczeń, które pomogą w podjęciu decyzji o zakupie i użytkowaniu opisanego urządzenia oraz oceny okresu zwrotu poniesionych nakładów. Szacunki takie spotkać można również w [3].

Tablica 3  
Wyniki analizy badań taśmy przenośnikowej zainstalowanej na różnych przenośnikach taśmowych

Parametr	Przenośnik G I		Przenośnik G II	
	03.1999	03.2000	03.1999	03.2000
Wytrzymałość na rozciąganie, kN/m	-	-	1610	1445
Grubość taśmy w strefie środkowej, mm	-	10,3	13,0	11,3
Grubość taśmy w strefie brzegowej, mm	-	12,5	13,0	12,6

Tablica 4  
Wyniki analizy trwałości krążników zainstalowanych na różnych przenośnikach taśmowych

Przenośnik		Liczba zainstalowanych krążników	Liczba krążników wymienionych			Trwałość krążników, miesiąc
			1999	do 05. 2000	Suma	
G I	g	570	251	144	395	23
	d	146	63	50	113	19
G I	g	2166	524	260	784	45
	d	574	141	63	204	47

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione w referacie wyniki oceny zastosowania przemiennika częstotliwości w napędzie przenośnika taśmowego dają podstawę do oszacowań efektów ekonomicznych. Pozwalają nie tylko na wyznaczenie oszczędności wynikłych z niższego zużycia energii, dzięki dostosowaniu prędkości przenośnika do transportowanej nim strugi urobku, co jest zabiegiem stosunkowo prostym, ale podają pewne informacje o trwałości podstawowych elementów przenośnika, jakimi są taśma i krążniki. Rozkłady prędkości taśmy przenośnika, a co za tym idzie oszacowane zmniejszenie ilości cykli obiegu taśmy na przenośniku wynikają z wielu względów, ale przede wszystkim z przyjętego systemu organizacji pracy poziomu wydobywczego oraz zastosowanych maszyn wydobywczych i wydają się być charakterystyczne dla danej kopalni. Porównanie jednak uzyskanych wyników z wynikami innej kopalni wskazuje na duże podobieństwo i daje pewne podstawy do uogólnień.

Dokonując oceny zastosowania przemiennika częstotliwości nie należy zapominać o innych, nie wyznaczonych w referacie efektach, takich jak: zwrot energii do sieci zasilającej podczas hamowania taśmy, mniejsze rozdrobnienie urobku na przesypach, będące wynikiem niższych prędkości roboczych taśmy, mniejsze zużycie innych niż wymienione elementów przenośnika. Wymagają one osobnych badań i opracowań.

#### LITERATURA

1. Kubek E., Tytko S., Hycnar J., Kolon S.: System automatycznej bezstopniowej regulacji prędkości przenośnika taśmowego na odstawie głównej w KWK „Anna”. Materiały III Międzynarodowej Konferencji nt: Nowoczesne przenośniki taśmowe dla węglowego górnictwa podziemnego. Politechnika Śląska, Instytut Mechanizacji Górnictwa, Szczyrk 3-4.09.1998
2. Kubek E., Tytko S.: Monitorowanie stanów pracy taśmociągów w KWK „Anna”. Materiały III Międzynarodowej Konferencji nt: Nowoczesne przenośniki taśmowe dla węglowego górnictwa podziemnego. Politechnika Śląska, Instytut Mechanizacji Górnictwa, Szczyrk 3-4.09.1998
3. Lutyński A., Tytko S., Kolek M.: Przenośniki taśmowe o regulowanej prędkości. Materiały Międzynarodowej Konferencji nt 1999 - kierunki modernizacji systemów transportu podziemnego. Politechnika Śląska, Ustroń, 9-10.06.1999
4. Abförderung über geschwindigkeitsgeregelte Bandanlagen. Bergwerk Westfalen (Niemcy) 02.1996 (niepublikowana)

**Abstract**

The paper presents results of the endurance tests of selected elements of modern belt conveyors the drives of which are furnished with frequency converters. Economic effects resulting from the application of the drives have been also enumerated. The tests and the analysis have been carried out on the conveyors being in operation at the "Anna" Coal Mine since 1996.

Idlers and conveyor belts were the selected elements subjected to the assessment of their service life. Data relating to times of operation of the belt within different ranges of the speed resulting from the load of the conveyor as well as the costs subsequent to the consumption of electric energy have been presented.