

Jerzy ANTONIAK¹

NAPĘDY GÓRNICZYCH PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH Z SILNIKAMI ASYNCHRONICZNYMI STEROWANYMI PRZEMIENNIKAMI CZĘSTOTLIWOŚCI

Streszczenie. W pracy opisano własności ruchowe napędów wyposażonych w przemienniki częstotliwości stosowanych w przenośnikach taśmowych. Podano charakterystyki mechaniczne silnika asynchronicznego sterowanego prądem przemiennikiem częstotliwości. Przedstawiono ważniejsze realizacje z ostatnich lat przenośników taśmowych wyposażonych w tego typu napędy, a więc: przenośnik z napędem czołowym czterobębnowym, przenośnik z bębnowymi napędami pośrednimi oraz przenośnik wznoszący o unikatowych parametrach.

AC VARIABLE FREQUENCY DRIVES FOR MINING BELT CONVEYORS

Summary. Movement properties of the belt conveyor drives equipped with variable frequency converters have been described in the paper. Mechanical characteristics of an asynchronous motor controlled by frequency converter have been mentioned. The most important implementations of belt conveyors equipped with that type of drives, such as: conveyor with four-drum head drive, conveyor with drum booster drives and inclined conveyor of unique parameters, have been also introduced in the paper.

1. WŁASNOŚCI RUCHOWE NAPĘDÓW WYPOSAŻONYCH W PRZEMIENNIKI CZĘSTOTLIWOŚCI

Napędy z silnikami indukcyjnymi sterowanymi przemiennikami częstotliwości muszą być wyposażone w sprzęgła elastyczne i przekładnie zębate, najczęściej planetarne, w celu otrzymania wysokiej wartości momentu obrotowego przy niskich obrotach. W napędach tego typu wykorzystuje się w pełni zalety silników asynchronicznych na napięcie 500 i 1000 V (lub wyższe).

W praktyce górniczej stosuje się przemienniki częstotliwości napięciowe i prądowe. Przemienniki napięciowe są budowane z wykorzystaniem tranzystorów, a prądowe z wykorzystaniem tyrystorów. Omawiane przemienniki częstotliwości są urządzeniami energoelektronicznymi przeznaczonymi do rozruchu i płynnej regulacji prędkości obrotowej silników asynchronicznych w obydwu kierunkach.

Wyposażenie prądowego przemiennika częstotliwości w programowalny sterownik mikroprocesorowy umożliwia jego pracę w układach automatycznej regulacji prędkości przenośników taśmowych. Układ sterowania przemiennika pozwala na nastawienie czasu osiągnięcia zadanej prędkości (obrotów) rozruchu, prądu hamowania (także przy zmianie

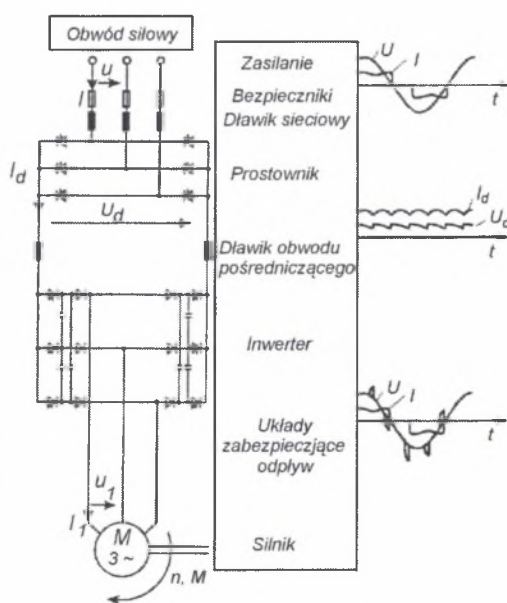
¹ Instytut Mechanizacji Górnictwa, Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 2, 44-101 Gliwice, tel/fax (+48 32) 2371595

kierunków obrotów), ograniczenia przeciążenia, rodzaju hamowania (hamowanie ze zwrotem energii do sieci, hamowanie dynamiczne lub brak hamowania).

Do podstawowych zalet przenośników taśmowych, których napędy są wyposażone w przemienniki częstotliwości, zalicza się:

- miękki rozruch przenośnika taśmowego, który nie powoduje spadków napięć w sieci zasilającej,
- zmniejszenie napięć taśmy w czasie rozruchu, co pozwala na zastosowanie taśm o mniejszej wytrzymałości,
- płynną regulację momentu i prędkości obrotowej silników, a więc i prędkości taśmy w funkcji nadawy, możliwość przewozu ludzi z bezpieczną prędkością,
- odporność na zakłócenia i zmiany parametrów sieci zasilającej,
- możliwość płynnej zmiany kierunku ruchu,
- możliwość pełnej automatyzacji procesu odstawy,
- znaczne oszczędności energii elektrycznej,
- zwiększenie trwałości przenośnika, a głównie taśmy oraz krążników, dzięki około dwukrotnie mniejszej liczbie obiegów taśmy wzdłuż przenośnika,
- prawie idealne wyrównanie obciążeń pomiędzy silnikami napędzającymi jeden przenośnik, co umożliwia stosowanie napędów wielobębnowych i napędów pośrednich,
- mniejsze wydzielanie ciepła i praca z mniejszym hałasem,
- hamowanie ze zwrotem energii do sieci elektroenergetycznej,
- pracę z pełnym przekrojem niecki, co umożliwia okresowe gromadzenie urobku na taśmie i spełnianie w ten sposób przez przenośnik roli zbiornika retencyjnego o dużej pojemności.

Czołowym producentem prądowych i napięciowych przemienników częstotliwości na potrzeby górnictwa jest firma PKiMSA Carboautomatyka S.A. Tychy. Na rys. 1 przedstawiono część energoelektroniczną prądowego przemiennika częstotliwości typu PPC 2/3, a w tabl. 1 podano jego dane znamionowe.



Rys. 1. Schemat energoelektronicznego układu przemiennika częstotliwości typu PPC 2/3

Fig. 1. Diagram of power electronics variable frequency converter type PPC 2/3

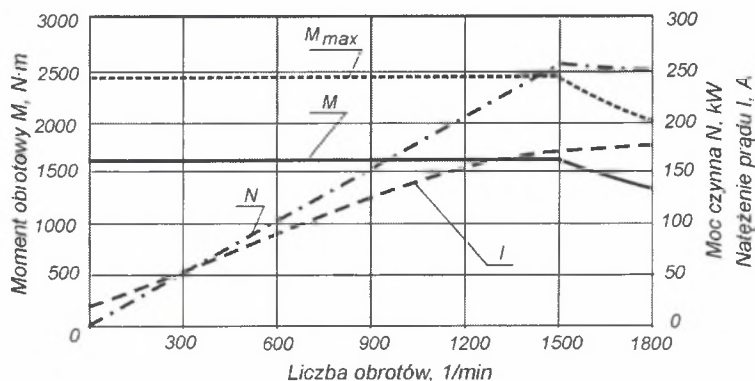
Tablica 1

Dane znamionowe przemiennika częstotliwości typu PPC 2/3

Prąd znamionowy, A / napięcie, V	380 / 500 lub 1000
Prąd wyjściowy krótkotrwały, A	418
Prąd wyjściowy krótkotrwały dla $f \leq 5$ Hz, A	475
Moc maksymalna silników, kW	510
Zakres regulacji prędkości, Hz	od 5 do 55
Sprawność, % / obudowa	97,26 / IP54
Liczba odpływów głównych	1 lub 2
Masa, kg / medium chłodzące	~2800 / woda (15 l/min)

Charakterystykę mechaniczną silnika asynchronicznego sterowanego prądem przemiennikiem częstotliwości przedstawiono na rys. 2.

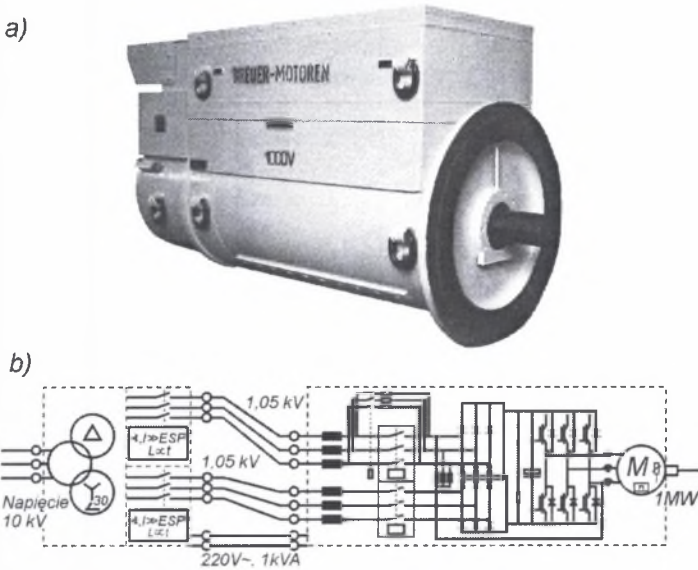
Regulacja prędkości obrotowej od 0 do 1500 obr/min odbywa się bezpośrednio przy stałym znamionowym momencie obrotowym $M = \text{const}$. Chwilowe przeciążenie silnika w okresie do 30 s, w zależności od budowy silnika, może wynosić od 150 do 170% momentu znamionowego lub mocy znamionowej. Wymagane natężenie prądu przy małej prędkości jest małe, ze względu na liniową charakterystykę natężenia prądu poniżej pełnej prędkości. Ciepło generowane w wirniku jest minimalne w porównaniu z silnikiem asynchronicznym. Liczba rozruchów silnika jest nieograniczona w normalnych warunkach pracy.



Rys. 2. Charakterystyka mechaniczna silnika asynchronicznego sterowanego prądem przemiennikiem częstotliwości

Fig. 2. Mechanical characteristic of asynchronous motor controllably by current variable frequency converter

Nowsze rozwiązania silników asynchronicznych sterowanych prądami przemiennikami częstotliwości prezentuje firma Breuer Motoren. Silniki te, o mocy 250, 400 i 1000 kW na napięcie 1000 V, są zintegrowane z blokiem prądowego przemiennika częstotliwości oraz z układem elektronicznym (rys. 3).



Rys. 3. Silnik asynchroniczny o mocy 1 MW zintegrowany z prądowym przemiennikiem częstotliwości; a) – widok zespołu, b) – schemat blokowy połączeń

Fig. 3. Asynchronous motor with power of 1 MW integrated with current variable frequency converter; a) – whole unit, b) – block diagram

Zespół silnik/ppc o mocy 250 kW i czterech parach biegunów jest przeznaczony do napędu przenośników taśmowych. Charakterystykę mechaniczną tego zespołu przedstawiono na rys. 2. Zespoły silnik/ppc o mocy 400 i 1000 kW są przeznaczone do napędu ścianowych przenośników zgrzeblowych.

System sterowania zespołem silnik/ppc otrzymuje dane z czujników zainstalowanych w zespole i komunikuje się z zespołem nadrzędnym.

Zespół silnik/ppc jest chłodzony wodą o wymuszonym przepływie w obiegu otwartym, zastosowanie bowiem chłodzenia powietrzem wymaga zainstalowania wentylatora znacznej mocy. Próby zastosowania chłodzenia wodą w obiegu zamkniętym silnika/ppc o mocy 250 kW, przeprowadzone w Anglii, zakończyły się niepowodzeniem. Zespoły te są umieszczone w obudowie przeciwwybuchowej z osłoną ognioszczelną i mogą pracować w podziemiach kopalń metanowych, w wyrobiskach o stopniu zagrożenia „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu.

Badania tych silników wykazały, że moment obrotowy maksymalny (trwający do 30 s) nie powinien przekraczać 1,5 momentu znamionowego, co pozwala uniknąć uszkodzenia zespołu silnik/ppc. Napięcie zasilania większe od 1100 V jest w specjalnym transformatorze przekształcane na napięcie 1000 V i doprowadzane do prądowego przemiennika częstotliwości. Schemat układu energoelektronicznego transformatora i zespołu silnik/ppc przedstawia rys. 3.

Dużą zaletą tych zespołów napędowych jest uzyskiwanie współczynnika mocy $\cos\varphi = 1$, podczas gdy normalnie silniki asynchroniczne dwuklatkowe mają ten współczynnik w granicach od 0,85 do 0,9. Często silniki te pracują przy małych obciążeniach, a więc przy niskich współczynnikach mocy o charakterze indukcyjnym. W związku z tym zespoły silnik/ppc stanowią ważny element poprawy ogólnego współczynnika mocy kopalni. Odległość transformatora (rys. 3) od zespołu silnik/ppc z różnych względów nie powinna wynosić więcej niż 1 km. Wymiary zespołu o mocy 1 MW wynoszą około: długość x

szerokość x wysokość = 2,2x0,95x1,25 m. Firma Breuer Motoren pracuje nad przystosowaniem omawianej techniki napędowej do bezpośredniego zasilania zespołów napięciem 3,3 lub 4 kV bez dodatkowego transformatora.

2. WAŻNIEJSZE PRZEMYSŁOWE REALIZACJE PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH Z NAPIĘCIAMI STEROWANYMI PRZEMIENNIKAMI CZĘSTOTLIWOŚCI

W ostatnich kilku latach zrealizowano w kraju i za granicą bardzo ambitne plany budowy przenośników taśmowych z napędami sterowanymi przemiennikami częstotliwości. Charakterystyki techniczne tych przenośników podano w tabl. 2. Jak wynika z tej tablicy, cztery prądowe przemienniki częstotliwości zastosowano w czterech napędach jednobębnowych we wznoszącym przenośniku taśmowym typu Bogda 1400 w KWK Jankowice.

Przenośnik wyposażony jest w sprzęgła przeciwpowrotne oraz w hydrauliczne zespoły hamulcowe, które są zasilane z agregatu hydraulicznego napędzanego silnikiem 3 kW/500 V. Jest także wyposażony w rejonie zwrotni zasypowej w automatyczną stację napinającą, której agregat napędzany jest silnikiem 7,5 kW/500 V. Wodny układ chłodzenia przekształtników jest objęciem zamkniętym zasilanym pompą OS 80 z silnikiem o mocy 15 kW.

Pracę przemienników oraz całego wyposażenia elektrycznego nadzoruje mikroprocesorowy system sterowania typu Betacontrol. Sterowanie przemiennikiem odbywa się za pomocą sterownika CCM II, który współpracuje z nadzorującym pracę przemienników sterownikiem BFBS i multiplexerami BFBM, nadzór zaś nad wyrównaniem momentów obrotowych całego układu napędowego prowadzi regulator mikroprocesorowy przemiennika nr 2, który jest traktowany jako MASTER dla pozostałych przekształtników. Wyrównanie momentu pomiędzy przemiennikami odbywa się drogą przewodową poprzez odpowiednie przetworniki (regulatory momentu). Komunikacja pomiędzy sterownikami oraz na trasie przenośnika odbywa się za pomocą magistrali komunikacyjnej Feldbus. Układ sterowania ma konfigurację rozproszoną (wej/wyj na trasie obsługiwane są przez multiplexery). Prostownik trójfazowy sześciopulsowy (rys. 1) poprzez dławik obwodu pośredniczącego dostarcza energię do falownika zasilającego silnik. Prostownik pełni rolę regulatora mocy w zależności od potrzeb napędu, a falownik jest źródłem napięcia zasilania silnika o regulowanej częstotliwości. Przy pracy hamowania z przekazywaniem energii do sieci odwróceniu ulegają role prostownika i falownika.

Mikroprocesorowy układ regulacji przemiennika umożliwia dynamiczną pracę silnika. W procesorze regulatora wypracowywane są sygnały sterujące dla prostownika i falownika o komutacji wymuszonej tak, aby przy każdym obciążeniu silnika wytworzony był właściwy kształt przesunięcia fazowego między napięciem i natężeniem prądu.

Na panelu operatorskim ustala się parametry pracy przemiennika oraz silnika i obserwuje stany pracy przemiennika.

Algorytm pracy przenośnika został opracowany tak, aby prędkość taśmy była zależna od ilości urobku transportowanego przez przenośnik zasypujący. Pomiar urobku nadzoruje sterownik UME 01 wraz z dwoma czujnikami ultradźwiękowymi USS01. Sygnał z czujników po obrobieniu przez UME zostaje przesłany do ostatniego multiplexera na trasie Bogdy, a następnie magistralą Feldbus do sterowników CCM 1 oraz BFBS, gdzie jest analizowany zgodnie z odpowiednim algorytmem, po czym sygnał prędkości zadanej („wartość zadana prędkości obrotowej”) zostaje przesłany do przemienników. Założona minimalna prędkość 1,1 m/s (przy braku zasypu) odpowiada częstotliwości 17,6 Hz, zaś przy maksymalnym zasypaniu urobku prędkość przenośnika wynosi 3,15 m/s, co odpowiada częstotliwości 47,5 Hz.

Rampa przyspieszenia taśmy od prędkości minimalnej do maksymalnej wynosi 20 s. Pełna programowalność (możliwość ingerencji w program przez użytkownika lub serwis) pozwala na zmiany parametrów w sterownikach lub przemiennikach częstotliwości, które mogą zmniejszyć lub zwiększyć zakres regulowanej prędkości, czułość (rampę) przyspieszania itp.

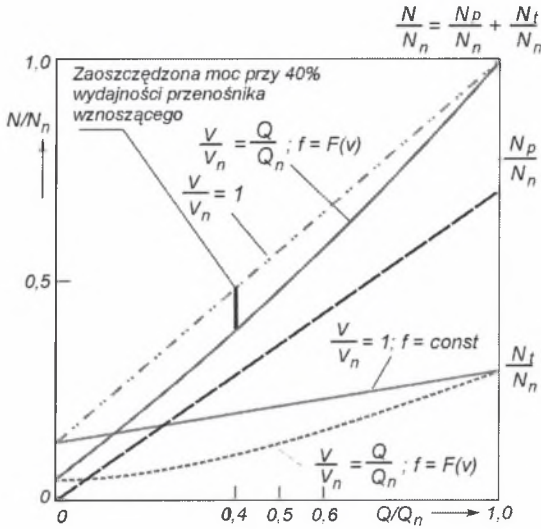
Tablica 2
Charakterystyki górniczych przenośników taśmowych z napędami sterowanymi przemiennikami częstotliwości

Charakterystyczne wielkości	Kopalnia węgla kamiennego				
	Jankowice	Mysłowice	Ziemowit	Sufco (USA)	Ensdorf (Niemcy)
Przenośnik	długi, krzywoliniowy wznoszący	bardzo długi, poziomy	długi, opadający, z odzyskiem energii	bardzo długi, podścianowy	bardzo długi, wznoszący
Długość przenośnika, m	1080	2512	960	6096	3775
Wysokość odstawy, m	+165	~ 0	-232,2	+73	+591
Promień krzywizny poziomej, m / kąt odgięcia, stopnie	600/5	-	-	-	-
Łuki wypukłe	3; R=200 m	-	-	-	-
Wydajność, t/h	2000	1300	1000	3000	2400
Szerokość taśmy, m	1,4	1,2	1,2	1,524	1,4
Prędkość taśmy, m/s	1,1÷3,15	0,1÷2,5	d0 2,5	do 3,56	do 5,0
Moc napędu, kW	4x1x355	2x250	2x250 +retarder 100 kW	3x(2x2x300)	3x2x1000
Typ taśmy	GTP ST 3150	Depreux	GTP 1600/4/3	2000-5- przekładkowa 4,75+4,75 mm	ST 6600
Inne cechy wyróżniające	prądowe przemienniki częstotliwości typu PPC 2/3, hamulce tarczowe, napęd czterobębnowy	hamulce tarczowe, prądowe przemienniki częstotliwości PPC 2/3, magazyn urobku ~360 t	prądowy przemiennik częstotliwości, hamulce tarczowe, odzysk energii, w rejonie zwrotni wysypowej retarder hydrauliczny	napięciowe przemienniki częstotliwości, napędy pośrednie	prądowe przemienniki częstotliwości, hamulce, odwracanie dolnej taśmy, sprzęgła przeciwpowrotne
czujniki i nowoczesne sterowanie					

Największym osiągnięciem, jakie uzyskano w wyniku przemyślanej budowy taśmy oraz przenośnika Bogda 1400, jest zmniejszenie fikcyjnego współczynnika tarcia f stosowanego w metodzie DIN 22101 do obliczania oporu ruchu przenośnika, którego wartość standardową przyjmuje się $f = 0,020$.

W październiku 2002 roku wykonano pomiary mocy czynnej dwóch silników przenośnika Bogda 1400 zasilanych z pola nr 8 rozdzielni R11. Przyjęto, że wyniki pomiarów w postaci oscylogramu są identyczne i dla pozostałych dwóch silników zasilanych z pola nr 9. Do pomiarów wykorzystano: przetwornik mocy czynnej typu MSPa 12, rejestrator SRC-8 oraz komputer notebook CA6100. Pomiary wykonano dla przenośnika nieobciążonego urobkiem i prędkości taśmy 1,1 oraz 3,15 m/s.

Przeprowadzone badania oporów ruchu przenośnika taśmowego Bogda 1400 i ich wyniki pozwalają na sporządzenie wykresu (rys. 4).



Rys. 4. Ilość zaoszczędzonej mocy przy 40% wydajności przenośnika wznoszącego z silnikami sterowanymi prądowymi przemiennikami częstotliwości dla zmierzonych wartości fikcyjnego współczynnika tarcia f

Fig. 4. Amount of saved power by 40% capacity of conveyor with motors controllably by current variable frequency converters for measured values of fictitious friction factor f

Na tym wykresie moc zużywana na pokonanie oporu podnoszenia nosiwa N_p jest proporcjonalna do aktualnego obciążenia przenośnika nosiwem i nie zależy od oporów ruchu. Moc można jedynie zaoszczędzić, zmniejszając opory główne przenośnika. Wartość zaoszczędzonej mocy (w przybliżeniu) w funkcji względnej wydajności przenośnika Q/Q_n , gdzie Q oznacza bieżącą wydajność przenośnika, a Q_n jej wartość nominalną, jest różnicą rzędnych pomiędzy krzywą N_t/N_n , wykreśloną dla $v/v_n = 1$ i dla $f = \text{const}$ i krzywą N_t/N_n , wykreśloną dla $v/v_n = Q/Q_n$ i dla $f = F(v)$. Nowością tego wykresu jest funkcja stosunku mocy zużywanej na pokonanie oporów głównych przenośnika N_t do mocy nominalnej N_n (N_t/N_n) dla $v/v_n = Q/Q_n$ i dla otrzymanych z badań wartości fikcyjnego współczynnika tarcia f (patrz DIN 22101) w zależności od aktualnej prędkości taśmy v ($f = F(v)$). Wykres tej funkcji ma kształt krzywej typu parabolicznego w dolnych wartościach Q/Q_n , przez co uzyskuje się zwiększoną wartość zaoszczędzonej mocy w tym obszarze. Na przykład dla wydajności średniej, wynoszącej 40% wydajności nominalnej przenośnika wznoszącego, zaoszczędzona względna moc wynosi około 9,5%.

Zależność $v/v_n = Q/Q_n$ wynika z przyjętego algorytmu sterowania prędkością taśmy w systemie napędu wyposażonego w przemiennik częstotliwości.

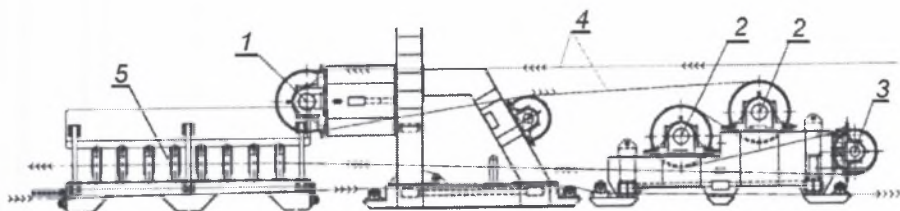
Na podstawie badań stwierdzono, że oszczędność energii elektrycznej wyniosła średnio 0,55 kWh/t przetransportowanego urobku.

Wykorzystując dane techniczne przenośnika taśmowego i taśmy oraz dane z pomiarów mocy czynnej, określono wartości fikcyjnego współczynnika tarcia, który dla $v = 1,1$ m/s wynosi $f = 0,011$ i dla $v = 3,15$ m/s wynosi $f = 0,018$. Tak wyjątkowo niskie opory ruchu są przede wszystkim wynikiem specjalnej budowy taśmy GTP ST 3150 o bardzo niskich oporach jej wgniatania w krążniki. Taśma ta, w wykonaniu FTT Stomil Wolbrom S.A., z rdzeniem z linek stalowych, ma przekładkę z siatki metalowej Fleximat w okładce

nośnej, a do wykonania okładek odpowiedniej grubości zastosowano gumę typu CR (chloroprenową). Ten typ taśmy odpowiada najlepszym światowym wykonaniom taśm.

Niskie opory ruchu przenośnika Bogda 1400 są także wynikiem: małych oporów obracania krążników (które podlegały osobnym badaniom), braku krążników bocznych z wyprzedzeniem, poprawnego rozwiązania zestawów krążnikowych w łuku przestrzennym przenośnika oraz przenoszonych dużych sił napięcia przez taśmę, co wpływa na zmniejszenie oporów przegینania taśmy i falowania urobku. Duży wpływ mają także poprawne warunki eksploatacji oraz zastosowanie napędów z przemiennikami częstotliwości.

Napędy sterowane przemiennikami częstotliwości bardzo dobrze nadają się do przenośników taśmowych wyposażonych w bębnowe napędy pośrednie. Przykładem takiego rozwiązania jest bardzo długi przenośnik taśmowy podścianowy zabudowany w kopalni węgla kamiennego Sufco w USA o danych technicznych zestawionych w tabl.2. Obydwa napędy pośrednie i napęd czołowy są wyposażone w dwa bębny napędowe i cztery silniki, każdy o mocy 300 kW na napięcie 500 V.



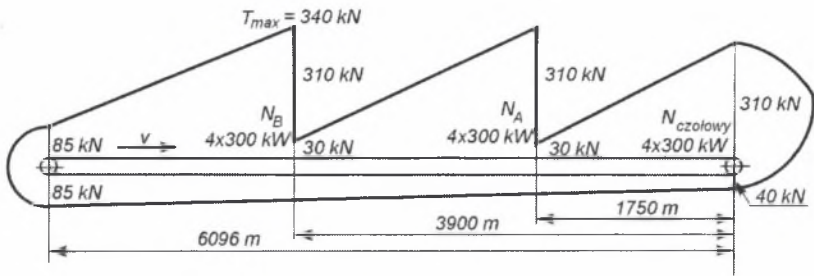
Rys. 5. Dwubębnowy napęd pośredni o mocy 4x300 kW z silnikami sterowanymi napięciowymi przemiennikami częstotliwości; 1 – bęben wysypowy, 2 – bęben napędowy, 3 – bęben odczytu siły napięcia taśmy, 4 – taśma, 5 – kosz zasypowy

Fig. 5. Two-drum intermediate drive 4x300 kW with with motors controllible by voltage variable frequency converters

W bębnowych napędach pośrednich (rys. 5) najkorzystniejsze jest stosowanie silników ze sprzęgłami hydrodynamicznymi o regulowanym napełnieniu (sprzęgła typu TPKL firmy Voith) lub silników asynchronicznych sterowanych przemiennikami częstotliwości. W celu zapewnienia prawidłowej pracy wszystkich napędów przenośnika, niezbędne jest zastosowanie nowoczesnych układów sterowania. Zasadą jest, że w napędach pośrednich bębnowych instalowana jest taka sama moc silników, jak w napędzie głównym czołowym.

Każdy napęd pośredni (rys. 5) składa się z bębna wysypowego, dwóch bębnow napędowych oraz z bębna odczytu siły napięcia taśmy z czujnikowaniem włączonym w układ pętli sprzężenia zwrotnego siły napięcia taśmy.

Zastosowanie tych dwóch napędów pośrednich – pierwszego w odległości 1750 m od wysypu i drugiego w odległości 3900 m od wysypu (rys. 6) spowodowało zmniejszenie wymaganej wytrzymałości roboczej taśmy do wartości 223 N/mm mniejszej od wymaganej dla taśmy tkaninowo-gumowej o wytrzymałości 2000 N/mm. Dzięki temu zastosowano taśmę pięcioprzekładkową EP z okładkami grubości 4,75 + 4,75 mm, której koszt jest niższy od kosztu taśmy z rdzeniem z linek stalowych. Zastosowanie tej taśmy pozwoliło jednocześnie skrócić czas wykonania połączeń, istotny z uwagi na okresowe skracanie przenośnika podścianowego.



Rys. 6. Wykres sił napięcia taśmy w przenośniku podścianowym z napędem czołowym i dwoma bębnowymi napędami pośrednimi (kopalnia Sufco, USA)

Fig. 6. Tension force graph in conveyor with front drive and two intermediate drives (Sufco Coalmine, USA)

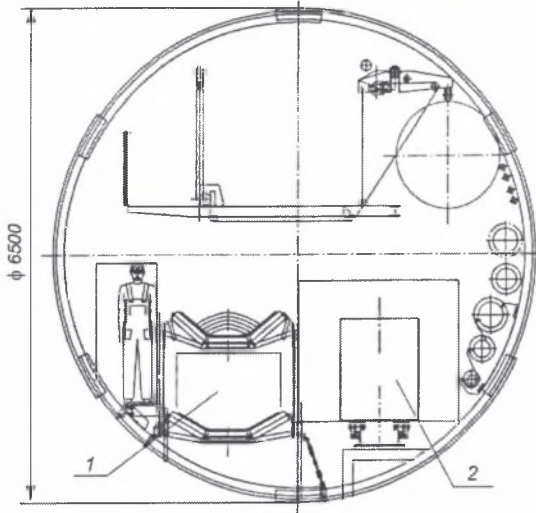
Obliczenia wykonane przez autora dla danego przenośnika taśmowego z wykorzystaniem metody podstawowej pozwoliły na sporządzenie wykresu zmiany sił napięcia taśmy wzdłuż przenośnika. Maksymalna siła napięcia taśmy występuje w rejonie napędu pośredniego B i wynosi około 340 kN, co dla taśmy klasy 2000 N/mm daje współczynnik bezpieczeństwa około 9. Po skróceniu przenośnika o 300 m siły napięcia w taśmie maleją, a wzrasta współczynnik bezpieczeństwa przekraczając wartość 9,5. Niezbędna siła napięcia wstępnej taśmy dla napędu dwubębnowego wynosi minimum 26 kN, lecz ze względu na siłę ciężkości taśmy osiąga ona w rejonie napędu czołowego wartość 40 kN. Mechanizm napinania wstępnej taśmy usytuowano w gałęzi dolnej w rejonie napędu głównego (czołowego). Wykres wykonano w skali. Ponieważ przenośnik jest skracany, to po dojściu czoła ściany na odległość 300 m od napędu pośredniego B jest on wymontowywany z przenośnika.

Do napędu zastosowano silniki asynchroniczne sterowane napięciowymi przemiennikami częstotliwości (firmy ABB). Napędy te charakteryzują się następującymi zaletami: precyzyjnym sterowaniem czynnym momentem obrotowym i prędkością silnika, małymi kosztami zakupu i eksploatacji silników asynchronicznych, precyzyjnym rozdziałem obciążenia na wszystkie napędy, zmienną prędkością roboczą, wydłużonym czasem rozruchu i zmniejszonym obciążeniem dynamicznym taśmy, małymi kosztami obsługi systemu elektroenergetycznego zasilania niskim napięciem silników. Do wad tych napędów należy zaliczyć skomplikowany system sterowania i konieczność chłodzenia przemienników częstotliwości, niskie napięcie zasilania, wymagające zastosowania kabli o dużych średnicach.

Sterowanie dostarczoną mocą w każdym napędzie pośrednim wykorzystuje siłę napięcia taśmy wskazywaną przez bęben odczytu. Wartość tej siły jest porównywana z docelową wartością siły napięcia taśmy, określoną przez projektanta przenośnika. Docelowa wartość siły napięcia oznacza równy rozkład obciążenia na napędy pośrednie dla w pełni załadowanego przenośnika. Pętla sprzężenia zwrotnego siły napięcia aktywnie porównuje bieżące wartości siły napięcia taśmy wskazywane przez bęben odczytu z docelową wartością siły napięcia. Różnica pomiędzy wartością bieżącą i docelową, określona mianem „błędu”, jest podawana do wiodącego napędu pośredniego. Jeśli wartość bieżąca jest większa niż docelowa, czyli zachodzi warunek dodatniego „błędu”, to napęd wiodący zwiększa moment obrotowy dostarczany do przenośnika, co powoduje zmniejszenie bieżącej wartości siły napięcia taśmy aż do wyzerowania „błędu”. Gdy wartość bieżąca jest mniejsza niż docelowa, czyli zachodzi warunek ujemnego „błędu”, napęd wiodący obniża moment obrotowy dostarczany do przenośnika, co powoduje wzrost bieżącej siły napięcia taśmy, aż do wyzerowania „błędu”. System aktywnej regulacji dostarczonego momentu obrotowego,

wykorzystujący pomiar siły napięcia taśmy, pozwala zminimalizować siły napięcia taśmy, co umożliwia zastosowanie taśm niższej klasy.

Inne rozwiązanie odstawy przenośnikowej przyjęto w kopalni Ensdorf (Niemcy). W pochylni 40.10 o średnicy 6,5 m (rys. 7) zainstalowano przenośnik z taśmą szerokości 1,4 m. Prędkość taśmy wynosi 5 m/s, a wydajność przenośnika – 2400 t/h. Długość całkowita przenośnika wynosi 3775 m. Jest on nachylony do poziomu pod kątem 9°. Wysokość podnoszenia urobku węglowego wynosi 591 m i jest zawarta między poziomem 1000 i 400 m.



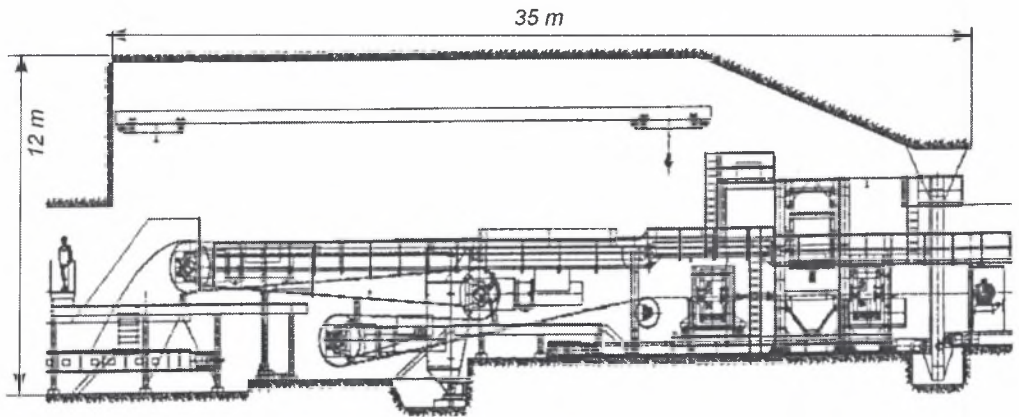
Rys. 7. Przekrój poprzeczny wyrobiska transportowego w kopalni Ensdorf (Niemcy); 1 – przenośnik taśmowy z możliwością jazdy ludzi, 2 – kolejka spagowa Scharf (możliwa jazda 16 osób)

Fig. 7. Heading's cross-section in Ensdorf Coal-mine (Germany); 1 – belt conveyor with men's possible drive, 2 – Scharf floor railway (possible drive of 16 persons)

Przed podjęciem ostatecznej decyzji rozważano szczegółowo warianty jednego i dwóch przenośników wyposażonych w napędy konwencjonalne lub napędy typu T-T, ze sprzęgłami hydrodynamicznymi lub sterowanymi przemiennikami częstotliwości. Ostatecznie zdecydowano się na jeden przenośnik taśmowy wyposażony w czołowy napęd trójbęnowy z sześcioma silnikami asynchronicznymi, każdy o mocy 1000 kW, sterowanymi prądowymi przemiennikami częstotliwości (patrz rys.3 – firmy Breuer). Do tych napędów dobrano trudno palną taśmę z linkami stalowymi o wytrzymałości 6600 N/mm z okładkami 12+10 mm. Producent taśmy uznał, że wytrzymałość zmęczeniowa połączeń w tej taśmie będzie na poziomie 38%, co wymagało przyjęcia minimalnego współczynnika bezpieczeństwa $S = 5,4$. Metodą elementów skończonych sprawdzono naprężenia w taśmie w rejonie łuku wypukłego o promieniu 400 m i w rejonie przejścia taśmy z kształtu nieckiego w płaski w rejonie wysypu. Przyjęte rozwiązanie wymagało dużego pomieszczenia dla stacji napędowo-wysypowej (rys. 8). W tym też rejonie zaprojektowano wiele urządzeń wspomagających prace remontowe przy przenośniku: suwnicę, stacjonarne zespoły zaciskowe taśmy oraz inne urządzenia. Bębny napędowe mają średnicę 1,75 m, a siła napięcia taśmy na bębnie napędowo-wysypowym wynosi 1710 kN. Bęben zwrotny ma średnicę 1,25 m, a odchylający – 1,0 m. Taśma w gałęzi powrotnej jest odwracana, a jej naciąg wstępny, zadawany układem ciężarowym, wynosi 120 kN. W rejonie zwrotni zapewniono możliwość przesunięcia się bębna na odległość 28 m.

Obciążenie dynamiczne taśmy jest nieznaczne, gdyż ustalono, że moment maksymalny będzie wynosił tylko 125% momentu znamionowego. W przypadku awarii jednego silnika (system pracy napędów $n - 1$), przenośnik może dalej pracować z wydajnością około 1500 t/h. Napędy są wyposażone w sprzęgła przeciwpowrotne i w hamulce o współczynniku bezpieczeństwa 1,5 w stosunku do składowej siły ciężkości urobku zapelniającego przenośnik.

Połączenia taśmy wykonano na powierzchni kopalni, dzięki czemu możliwe było zmniejszenie ich liczby, gdyż odcinki taśmy miały długość 470 m i masę około 50 t. Całą taśmę opuszczono pochylnią Barbara i przez zbiornik urobku w rejonie stacji napędowej w pochylni 40.10. Przenośnikiem może również odbywać się przewóz załogi na taśmie częściowo załadowanej urobkiem z prędkością 3,2 m/s.



Rys. 8. Stacja napędowa przenośnika taśmowego wznoszącego o mocy $3 \times 2 \times 1000$ kW (kopalnia Ensdorf, Niemcy)

Fig. 8. Drive station of belt conveyor $3 \times 2 \times 1000$ kW (Ensdorf Coal-mine Germany)

3. UWAGI OGÓLNE I WNIOSKI

Zastosowanie w przenośnikach taśmowych dużej mocy, długich i o dużym momencie bezwładności napędów wyposażonych w przemienniki częstotliwości przynosi następujące korzyści technologiczne: wydłużenie czasu rozruchu, zmniejszenie obciążeń dynamicznych taśmy, prawie idealnie symetryczny rozdział obciążenia na poszczególne silniki i napędy różnie usytuowane w przenośniku, a zwłaszcza w przenośniku z bębnowymi napędami pośrednimi. Nie bez znaczenia są inne korzyści, takie jak: obniżenie kosztów inwestycyjnych, ograniczenie kubatury wyrobisk górniczych w miejscu instalacji napędów, typizacja napędów, regulacja prędkości taśmy, co ułatwia odstawę urobku i przewóz załogi jednym przenośnikiem oraz przyczynia się do zwiększenia trwałości elementów przenośnika, zmniejszenia zużycia energii elektrycznej na odstawę urobku i jej odzysk w przenośnikach opadających.

Przedstawione w pracy konkretne rozwiązania techniczne systemów przenośników taśmowych wyposażonych w napędy sterowane prądowymi lub napięciowymi przemiennikami częstotliwości w pełni potwierdzają zalety tych napędów oraz korzyści z ich stosowania.

Literatura

1. Antoniak J.: Przenośniki taśmowe – wprowadzenie do teorii i obliczenia. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
2. Antoniak J.: Napędy pośrednie stosowane w górniczych przenośnikach taśmowych. Mechanizacja i Automatyzaacja Górnictwa nr 9, 2004.
3. Holes K. Kellis J.: Drive systems for conveyors. Fördertechnik im Bergbau. Technische Universität Clausthal. Tagungsband Januar, 2004.
4. Keller K., Florek R.: Planung und Realisierung der Förderverbindung 40.10. Fördertechnik im Bergbau. Technische Universität Clausthal. Tagungsband Januar, 2004.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Sylwester Markusik