

*zakładowy system transportowy,
przenośnik wałkowy, układ napędowy, modernizacja*

Roman PACHOWICZ
Krzysztof PIENKOWSKI*

KONCEPCJA MODERNIZACJI SYSTEMU TRANSPORTOWEGO WIELOSTANOWISKOWEJ LINII MONTAŻOWEJ

W pracy przedstawiono zagadnienia modernizacji przemysłowego systemu transportowego wielostanowiskowej linii montażowej. Modernizacja dotyczyła linii montażowej z zastosowaniem transportera łańcuchowego o dużej długości. W systemie tym dla zapewnienia wymaganego przebiegu procesu montażu stosowano dużą częstość załączeń i wyłączeń układu napędowego. W projekcie modernizacji linii montażowej transporter łańcuchowy zastąpiono systemem modułowym złożonym z odpowiedniej liczby modułów przenośników wałkowych z oddzielnymi układami napędowymi. System modułowy zapewnia dużą elastyczność systemu transportowego oraz pozwala na wyeliminowanie trybu pracy linii z dużą częstością łączeń. Pozwala również na obniżenie wymaganej mocy układu napędowego i zmniejszenie zużycia energii elektrycznej.

1. WPROWADZENIE

W zakładach przemysłowych w procesie produkcji wyrobów stosowane są często transportowe linie montażowe. Transportowa linia montażowa zapewnia transport wyrobów do kolejnych stanowisk roboczych na których dokonywany jest montaż podzespołów w celu uzyskania wyrobu końcowego. Stosowane w przemyśle linie montażowe są w wielu przypadkach wykonane pod względem konstrukcji jako transportery. Rozróżnia się transportery taśmowe, rolkowe, paskowe, łańcuchowe i inne [1]. Wybór konstrukcji zastosowanego transportera zależy od rodzaju transportowanego wyrobu, jego wymiarów gabarytowych i ciężaru, technologii prac montażowych oraz wielu innych czynników. Do transportu wyrobów o dużym ciężarze lub dużych gabarytach najczęściej są stosowane transportery łańcuchowe.

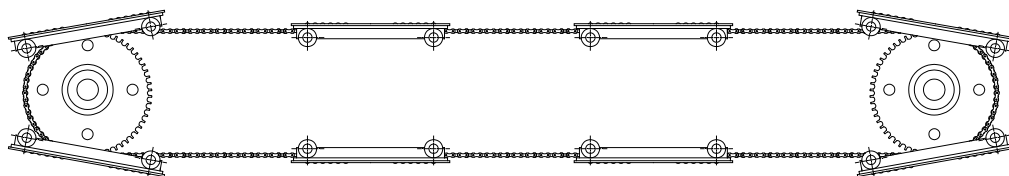
* Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, ul. Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław, e-mail: roman.pachowicz@pwr.wroc.pl; krzysztof.pienkowski@pwr.wroc.pl

W wielu krajowych zakładach produkcyjnych stosowane są linie montażowe, których czas użytkowania jest stosunkowo długi. Linie te często są nadal eksploatowane z zastosowaniem tylko pewnych modernizacji konstrukcji lub wymiany elementów składowych. Rosnące wymagania procesu technologicznego powodują, że te linie produkcyjne coraz częściej nie spełniają stawianych im obecnie wymagań technicznych. Dotyczy to głównie konstrukcji mechanicznej linii, zastosowanych układów napędowych i układów sterowania oraz sprawności i niezawodności pracy poszczególnych elementów. Stąd coraz częściej w wielu zakładach przemysłowych podejmowane są działania mające na celu modernizacje stosowanych linii montażowych.

W pracy tej przedstawiono wybrane zagadnienia dotyczące zrealizowanego projektu modernizacji transportera zastosowanego w wielostanowiskowej linii montażowej w fabryce kuchenek wolnostojących. Opis problemów związanych z modernizacją tego rodzaju transportera może być przykładem zasad postępowania przy próbach modernizacji innych układów transportowych podejmowanych w zakładach produkcyjnych.

2. OPIS UKŁADU TRANSPORTOWEGO PRZED MODERNIZACJĄ

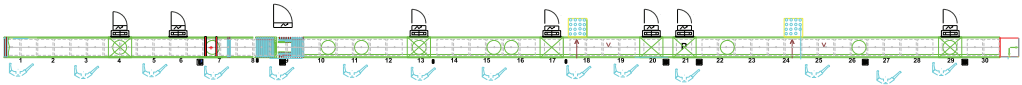
W wielostanowiskowej linii montażowej w fabryce kuchenek elektrycznych wolnostojących jako podstawowy układ transportowy stosowany jest transporter łańcuchowy [2]. Przykład konstrukcji mechanicznej transportera łańcuchowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat konstrukcji transportera łańcuchowego
Fig. 1. Construction drawing of chain conveyor

Transporter łańcuchowy jest wykonany jako przenośnik typu ciągnowego, w którym rolę ciągien spełniają łańcuchy, do których przymocowane są wózki jezdne. W zależności od specyfiki transportowanego ładunku przenośnik łańcuchowy może posiadać od 1 do 5 ciągien (w uzasadnionych przypadkach liczba ciągien może być też większa). Ciągna łańcuchowe są rozpięte pomiędzy kołem łańcuchowym napędzanym oraz kołem łańcuchowym zwrotnym (pełniącym również funkcję układu napinania przenośnika) i realizują funkcje przenoszenia ładunków na swojej górnej części nośnej.

W fabryce kuchenek elektrycznych transporter łańcuchowy spełnia nie tylko funkcje transportowe, lecz jest również zespołem stanowisk do prac montażowych. Wzdłuż całej długości transportera realizowany jest proces montażu elementów kuchenek. Zastosowany w fabryce transporter łańcuchowy ma długość rzędu kilkudziesięciu metrów i zawiera kilkadziesiąt wózków transportowych zamocowanych w ciągnach górnych i dolnych. Schemat przykładu linii montażowej z zastosowaniem transportera łańcuchowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat linii montażowej z zastosowaniem transportera łańcuchowego

Fig. 2. Drawing of assembly line based on chain conveyor

Stosunkowo duża długość transportera powoduje trudności związane z dokładnym utrzymaniem prostoliniowego przebiegu trasy transportera. Odchylenia trasy od przebiegu prostoliniowego powodują zwiększenie oporów ruchu przenośnika, a przez to zwiększenie wymaganej mocy układu napędowego. Rozpatrywany transporter łańcuchowy jest napędzany za pomocą motoreduktora z silnikiem indukcyjnym klatkowym o mocy znamionowej 5,5 kW i znamionowej prędkości obrotowej 1450 obr./min. Wartość początkowa prądu rozruchu bezpośredniego silnika wynosi 5,2 prądu znamionowego silnika. Przekładnia mechaniczna motoreduktora o przełożeniu $i = 94,13$ zapewnia obniżenie prędkości mechanicznej napędzanego koła łańcuchowego dla uzyskania wymaganej prędkości liniowej ruchu transportera.

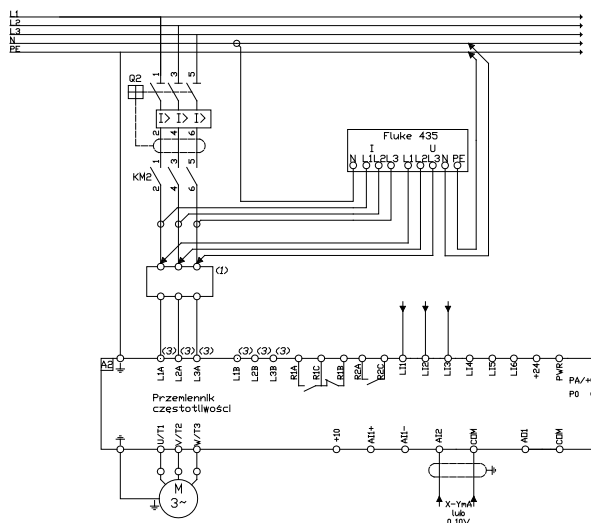
Proces montażu wymusza tryb pracy przerywanej transportera, a stąd i jego układu napędowego. Każdy cykl pracy transportera składa się z krótkiego przedziału czasowego (około 5 s) w którym występuje ruch transportera i z dłuższego przedziału czasowego (około 36 s) w którym występuje postój transportera w celu realizacji czynności montażowych. W okresie jednej godziny dokonywanych jest ponad 80 załączeń i wyłączeń silnika z sieci. Taki tryb pracy transportera jest związany z koniecznością dokonywania częstych rozruchów i hamowań układu napędowego, wpływających niekorzystnie na elektryczny silnik napędowy, układ zasilania oraz na elementy kinematyczne układu mechanicznego.

Po zainstalowaniu transportera rozruch linii był realizowany przez bezpośrednie załączanie silnika napędowego do sieci, a hamowanie przez wybieg swobodny po wyłączeniu silnika napędowego z sieci. Taki sposób sterowania transporterem był związany z poborem dużych prądów rozruchowych, które stanowiły duże obciążenie sieci zasilającej oraz powodowały dodatkowe nagrzewanie się silnika napędowego.

Dla poprawy warunków pracy układu napędowego transportera kilka lat temu dokonano pewnej modernizacji polegającej na zastosowaniu sterowania częstotliwościowego silnikiem indukcyjnym za pośrednictwem falownika napięcia. Przekształtnik częstotliwości został wykorzystany do zapewnienia płynnego przebiegu rozruchu transportera oraz do zatrzymywania transportera przez zastosowanie hamowania elektrycznego silnika indukcyjnego z przekształtnikiem. Wymagania związane z przebiegiem procesu montażowego powodują, że przekształtnikowy układ napędowy transportera jest nadal sterowany z zastosowaniem dużej częstości załączeń i wyłączeń.

3. BADANIA WIELKOŚCI ENERGETYCZNYCH UKŁADU NAPĘDOWEGO TRANSPORTERA

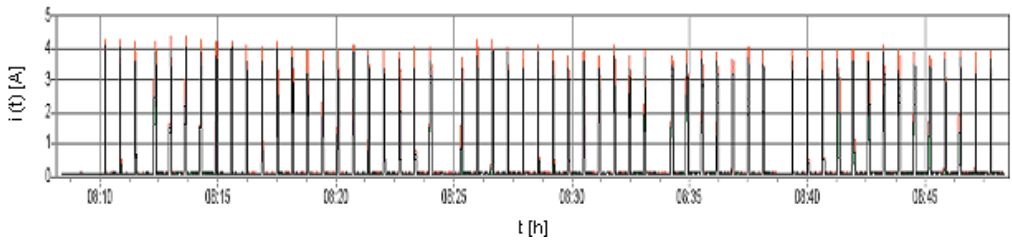
Dla sprawdzenia przebiegu obciążenia sieci przez układ napędowy transportera, określenia zapotrzebowania energii elektrycznej, poboru mocy elektrycznej oraz innych wielkości wykonano badania kontrolne układu napędowego transportera. Pomiarzy wykonano z zastosowaniem analizatora sieciowego typu Fluke 435 przeznaczonego do badania jakości energii elektrycznej. Analizator sieciowy był przyłączony między systemem sieci zasilającej i wejściowymi obwodami mocy przekształtnika częstotliwości sterującego silnikiem napędowym transportera. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 3.



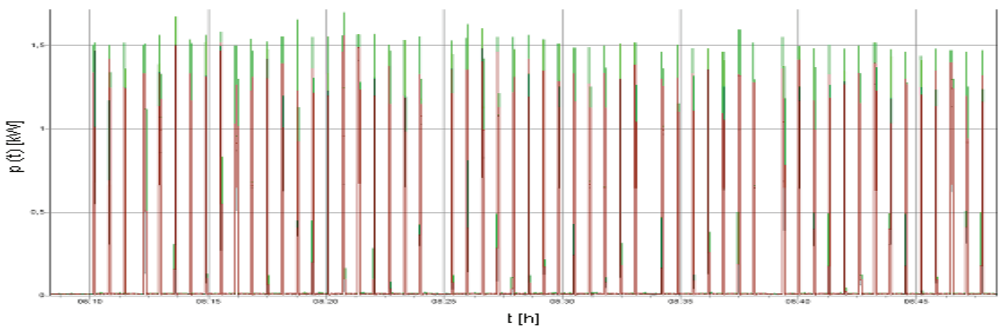
Rys. 3. Schemat układu pomiarowego do badań napędu transportera łańcuchowego

Fig. 3. Scheme of measuring circuit for investigations of chain conveyor drive

Pomiary polegały na rejestracji w odpowiednio długim przedziale czasu (około 1 godziny) wielkości energetycznych związanych z układem napędowym transportera łańcuchowego. W układzie pomiarowym rejestrowano następujące wielkości: wartości skuteczne napięć przewodowych sieci zasilającej, wartości skuteczne prądów fazowych pobieranych z sieci, wartości mocy czynnej i mocy biernej pobieranej z sieci oraz współczynnika mocy. Pomiary wykonano dla linii transportowej obciążonej transportowanymi wyrobami oraz dla linii transportowej pracującej bez obciążenia. Przebiegi chwilowe wartości skutecznej prądu fazowego w jednej z faz zasilania układu napędowego oraz mocy czynnej pobieranej z sieci podczas pracy obciążonego transportera przedstawiono na rysunku 4 i 5. Podobne przebiegi chwilowe otrzymano również podczas rejestracji stanów pracy transportera nieobciążonego [2].



Rys. 4. Przebiegi chwilowe prądu zasilania $i = f(t)$ dla napędu obciążonego transportera łańcuchowego
Fig. 4. Time waveforms of mains current $i = f(t)$ for drive of loaded chain conveyor



Rys. 5. Przebiegi chwilowe mocy czynnej $p = f(t)$ pobieranej z sieci dla napędu obciążonego transportera łańcuchowego
Fig. 5. Time waveforms of active power $p = f(t)$ consumed from mains for drive of loaded chain conveyor

Z analizy zarejestrowanych przebiegów wynika, że zastosowanie przekształtnikowego układu sterowania napędem transportera zapewniło wprawdzie ograniczenie wartości prądów rozruchowych silnika, ale nie wyeliminowało impulsowego charakteru poboru prądów i mocy elektrycznej z sieci, uwarunkowanych trybem przerywanej

pracy układu napędowego transportera. Stąd można wnioskować, że moment napędowy silnika transportera ma również przebieg o uderowo zmiennych wartościach. Z tych względów można uznać, że układ przekształtnikowy nie zapewnia istotnego ograniczenia niekorzystnego oddziaływania układu napędowego transportera na sieć zasilającą oraz elementy układu mechanicznego transportera.

4. PROJEKT MODERNIZACJI UKŁADU TRANSPORTOWEGO LINII MONTAŻOWEJ

4.1. UZASADNIENIE CELOWOŚCI MODERNIZACJI

Przedstawiona konstrukcja przenośnika łańcuchowego i jego układu napędowego narzuca poważne ograniczenia pod względem możliwości ich dalszej eksploatacji. Ograniczenia te są spowodowane wieloma przyczynami technicznymi.

Dla zwiększenia wydajności produkcji na dwu stanowiskach montażowych w linii transportowej zainstalowano roboty przemysłowe. Podstawowym zadaniem każdego robota jest uchwycenie transportowanego wyrobu i jego obrócenie o odpowiedni kąt (180° w osi Y oraz 90° w osi X). Dla zapewnienia poprawnej pracy ramion robotów konieczne jest zapewnienie dokładnego zatrzymywania transportowanych wyrobów przy zrobotyzowanych stanowiskach. W stosowanym układzie transportera łańcuchowego ze względu na dość dużą zmienność momentu bezwładności i momentu oporowego spowodowanych głównie przez często zmienną liczbę transportowanych wyrobów uzyskiwana niedokładność pozycjonowania wyrobu wynosiła średnio około ± 7 cm. Występujące stosunkowo często przekroczenia tych wartości powodowały przekroczenie wymagań technologicznych i wywoływały konieczność dokonywania operacji manewrowych transportera dla uzyskania żądanej dokładności pozycjonowania. Wprowadzenie sterowania w układzie zamkniętym nie jest tu rozważane ze względu na dużą liczbę stanowisk montażowych i konieczność wprowadzenia systemu sterowania z dużą liczbą czujników.

Dla zwiększenia wydajności produkcji rozważane jest również zwiększenie liczby stanowisk montażowych. Wiąże się to z koniecznością zwiększenia długości linii montażowej. Z powodu ograniczonych wymiarów gabarytowych hali montażowej wymaga to zastosowania linii transportowej, której przebieg trasy wyznaczony byłby przez odcinki stanowiące boki czworokąta. Ze względu na to, że transporter łańcuchowy wymaga prostoliniowego przebiegu trasy, a sterowanie ciągiem transporterów łańcuchowych stanowi złożony problem technologiczny należy uznać, że realizacja takiej modernizacji nie jest możliwa przy zachowaniu transportera łańcuchowego jako układu transportowego.

Konieczność podjęcia modernizacji linii montażowej jest uzasadniona również przez stosunkowo duże zużycie techniczne konstrukcji mechanicznej transportera

spowodowane jego wieloletnią eksploatacją. Obecna konstrukcja transportera jest często przeszkodą w realizacji stawianych zadań technologicznych. Transporter charakteryzuje się dość dużą awaryjnością, która prowadzi do przerw w produkcji spowodowanych koniecznością wykonania bieżących napraw.

Z wymienionych względów podjęto prace koncepcyjno-projektowe nad opracowaniem nowego systemu transportowego linii montażowej.

4.2. WYBÓR KONCEPCJI ROZWIĄZANIA

Podstawowym założeniem rozważanym przy wyborze nowego systemu transportowej linii montażowej było przyjęcie, że linia ta powinna mieć budowę modułową. Takie rozwiązanie jest nowoczesne i zalecane do stosowania w elastycznych systemach produkcyjnych. Poszczególne moduły mogą być sprzęgane w dowolne struktury transportowe i rozbudowywane w płaszczyźnie poziomej i pionowej z zastosowaniem odpowiednich złączy połączeniowych. Modułowe układy transportowe o różnych układach konstrukcyjnych są produkowane przez wiele firm transportowych [3], [4].

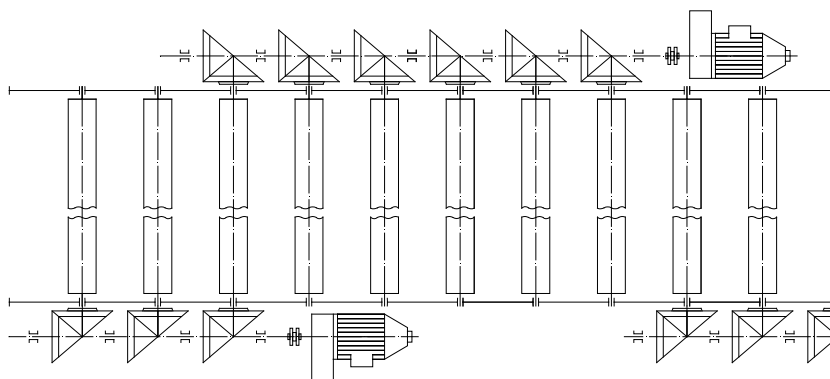
Założono, że każdy moduł powinien być wyposażony w oddzielny układ napędowy, co zapewni możliwość indywidualnego sterowania modułów oraz zapewni możliwość odpowiedniego pozycjonowania wyrobu transportowanego na danym module. Rozpatrywano moduły transportowe taśmowe, rolkowe i konstrukcje specjalne. Na podstawie analizy wielu różnych konstrukcji przenośników modułowych wybrano przenośnik wałkowy napędzany (rolkowy). Przenośniki wałkowe napędzane znajdują zastosowanie w transporcie zarówno elementów ciężkich, o dużych wymiarach i elementów o małych wymiarach. Przenośniki tego typu są wykonywane w różnych długościach, szerokościach i podziałkach rolek transportowych. [3], [4]. Mogą pracować zarówno jako systemy pojedyncze i zintegrowane. Wymienione względy wskazują, że modułowy przenośnik wałkowy można uznać jako najbardziej przydatny do transportu wyrobów, którymi są kuchenki wolnostojące.

Przyjęto, że moduły przenośników wałkowych będą wyposażone w napęd grupowy wałków. W napędzie grupowym wszystkie wałki lub grupa wałków danego modułu jest napędzana przez jeden silnik. Układ napędu grupowego składa się z silnika elektrycznego, głównej mechanicznej przekładni zębatej i połączonego z nią wału z osadzonymi na nim zespołami kół stożkowych przekładni napędzających poszczególne wałki przenośnika [1]. Przykład konstrukcji przenośnika wałkowego z grupowym układem napędowym przedstawiono na rys.6.

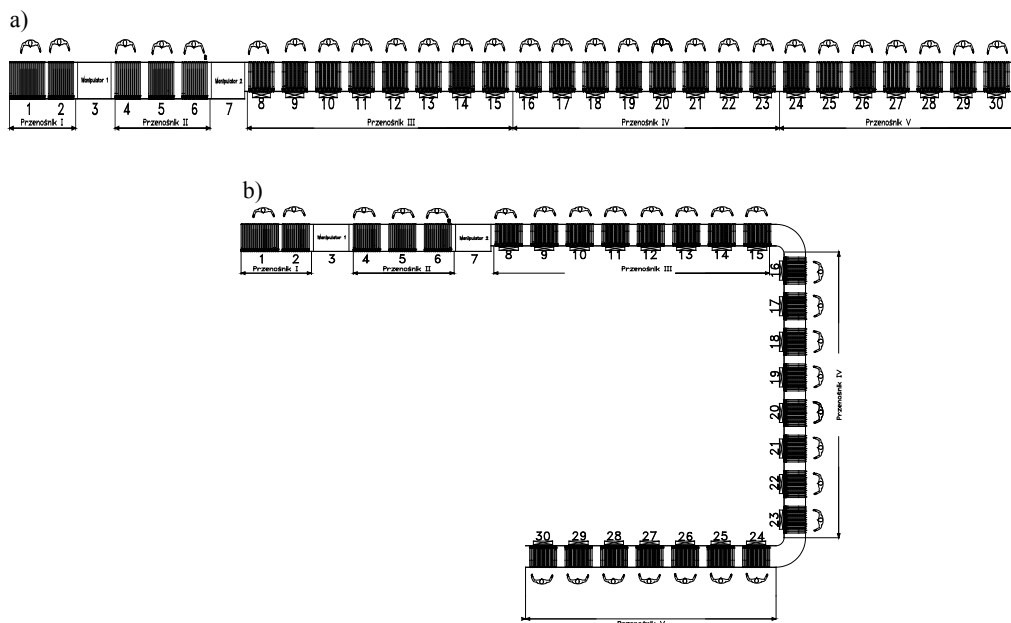
Przy projektowaniu nowej transportowej linii montażowej przyjęto założenie, że nowy modułowy system transportowy powinien zapewniać wydajność, liczbę stanowisk oraz całkowitą długość co najmniej równą do stosowanych w systemie dotychczasowym.

Na podstawie analizy czynności technologicznych wykonywanych podczas montażu oraz możliwych konfiguracji ustawień linii montażowej przyjęto, że stosowany dotychczas transporter łańcuchowy o dużej długości zostanie zastąpiony przez system

przeñośników wałkowych złożony z 5 modułów o długościach dobranych odpowiednio do wymagań procesu technologicznego. Przykłady wybranych konfiguracji możliwych ustawień linii montażowej złożonej z 5 modułów przeñośników wałkowych przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 6. Konstrukcja przeñośnika wałkowego napędzanego grupowo
Fig. 6. Construction of roller conveyor with group drive



Rys. 7. Układy linii montażowych z zastosowaniem przeñośników wałkowych:
a) o trasie prostoliniowej; b) o trasie złożonej
Fig. 7. Systems of assembly lines with roller conveyors:
a) rectilinear route; b) complex route

W projekcie montażowej linii transportowej złożonej z modułów przenośników wałkowych przyjęto wprowadzenie całkowicie odmiennego trybu pracy linii. Założono, że praca linii będzie odbywać się w trybie pracy ciągłej, a nie jak dotychczas w trybie pracy przerywanej z licznymi załączeniami i wyłączeniami układu napędowego. Zastosowanie trybu pracy ciągłej układu napędowego zmniejszy obciążenie sieci zasilającej, zmniejszy straty mocy i nagrzewanie silnika oraz wyeliminuje występowanie uderowo zmiennych momentów mechanicznych.

W projekcie przewidziano również zastosowanie odmiennej zasady pozycjonowania transportowanego wyrobu względem stanowisk zrobotyzowanych oraz innych stanowisk montażowych. Przyjęto, że takie pozycjonowanie będzie realizowane przez wysuwane ponad wałki dwie bariery mechaniczne, zamontowane przy stanowiskach montażowych. Pierwsza bariera powinna umożliwiać blokadę wjazdu wyrobu na stanowisko w sytuacji gdy stanowisko to jest zajęte, a druga bariera zapewniać pożądane pozycjonowanie wyrobu na stanowisku na czas trwania operacji montażowych. Wysuwanie i cofanie barier mechanicznych powinno następować za pośrednictwem siłowników pneumatycznych lub innego rodzaju. Sterowanie tych siłowników może odbywać się za pośrednictwem czujników zbliżeniowych lub optycznych umieszczonych przy danym stanowisku oraz przez obsługę przez wykorzystanie przycisków na pulpicie sterowniczym stanowiska. Taka metoda zapewni w prosty sposób wymaganą technologicznie dokładność pozycjonowania wyrobu przy wielu stanowiskach oraz eliminuje niepożądaną konieczność częstego uruchamiania i zatrzymywania linii transportowej.

4.3. OBLICZENIA I DOBÓR MOCY MODUŁOWEGO SYSTEMU TRANSPORTOWEGO

Dobór mocy układu napędowego modułowego przenośnika wałkowego wymaga znajomości oporów ruchu przenośnika. W przenośnikach o trasie poziomej opory ruchu przenośnika wałkowego składają się z dwóch składowych: oporów ruchu transportowanych ładunków F_1 oraz oporów ruchu elementów obrotowych wałków przenośnika F_2 [1].

Opery ruchu F_1 i F_2 określają zależności:

$$F_1 = \mu_1 \cdot G \cdot z \quad (1)$$

$$F_2 = \mu_2 \cdot \frac{d_c}{d} \cdot \frac{L}{l_w} \cdot G_w \quad (2)$$

gdzie:

- μ_1, μ_2 – odpowiednio zastępczy współczynnik tarcia i współczynnik tarcia w łożyskach czopów wałków;
- G, G_w – ciężar transportowanego wyrobu i ciężar części obrotowej wałka;

- z – liczba jednocześnie transportowanych wyrobów na przenośniku;
 d_c, d – średnica czopa wałka i średnica wałka;
 L, l_w – długość modułu przenośnika i rozstaw wałków przenośnika.
 Wymagana moc silnika napędowego P powinna wynosić:

$$P \geq (F_1 + F_2) \cdot v / \eta \quad (3)$$

gdzie:

- v – prędkość liniowa przenośnika wałkowego;
 η – wypadkowa sprawność przekładni mechanicznej i przenośnika wałkowego.

Na podstawie zależności (1)–(3) dokonano obliczeń oporów ruchu i zapotrzebowania mocy napędowej oraz dobrano silniki napędowe dla każdego modułu przenośnika wałkowego [2]. Dobrano układy napędowe z motoreduktorami, złożonymi z silnika indukcyjnego klatkowego oraz z przekładni mechanicznej ślimakowej. Przyjęto, że będzie stosowany rozruch z bezpośrednim załączeniem silników do sieci. Zestawienie mocy znamionowych dobranych silników dla poszczególnych modułów przenośników wałkowych zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wartości mocy znamionowych silników napędowych przenośników wałkowych
 Table 1. Statement of values of rated power of drive motors of roller conveyors

Moduł przenośnika wałkowego	I	II	III	IV	V
Długość modułu przenośnika [m]	3	4	11	11	10
Moc silnika napędowego modułu [kW]	0,25	0,35	1,1	1,1	0,75
Suma mocy silników napędowych [kW]	3,55				
Moc silnika transportera łańcuchowego ($L = 43$ m) [kW]	5,5				

Z analizy wartości mocy napędowych zestawionych w tabeli 1 wynika, że system transportowy linii montażowej złożony z modułów przenośników taśmowych wymaga zainstalowania układu napędowego a znacznie mniejszej mocy znamionowej w porównaniu do równoważnego systemu z transporterem łańcuchowym. Pozwoli to na zmniejszenie kosztów inwestycyjnych układu napędowego i aparatury zainstalowanej w systemie transportowym.

5. WNIOSKI

Rosnące wymagania technologiczne i dążenia do wzrostu wydajności produkcji wymuszają konieczność modernizacji systemów transportowych stosowanych w przemyśle. Zaprojektowane i wdrożone przed wieloma laty w przemyśle systemy transportowe w coraz w mniejszym stopniu spełniają stawiane im wymagania pod względem niezawodności, sprawności i niskich kosztów eksploatacji.

Na podstawie wykonanego projektu modernizacji linii transportowej stwierdzić można, że najkorzystniejszym systemem transportowym jest system wykonany jako system modułowy. Modułowy system transportowy pozwala na uzyskanie elastycznego systemu transportowego, który zapewnia możliwość wprowadzania zmian konfiguracji systemu transportowego oraz zmniejsza złożoność konstrukcji systemu transportowego i sterowania tym systemem. Wprowadzenie modułowego systemu sterowania może prowadzić w wielu wypadkach do zmniejszenia oporów ruchu systemu transportowego, a przez to zmniejszenia wymaganej mocy znamionowej układu napędowego.

Opisany w pracy system transportowy z zastosowaniem modułowych przenośników wałkowych jest zalecany pod względem technicznym i ekonomicznym. Konstrukcja przenośnika wałkowego jest prosta w budowie, pewna w działaniu, zapewnia możliwość łatwej rozbudowy, pozwala na unifikację systemów transportowych.

LITERATURA

- [1] GOŹDZIECKI M., ŚWIĄTKIEWICZ H., *Przenośniki*, WNT, Warszawa 1979.
- [2] PACHOWICZ R., *Koncepcja modernizacji napędu transportera wielostanowiskowej linii montażowej w firmie Fagor Mastercook*, Magisterska praca dyplomowa, Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny, Wrocław 2011.
- [3] www.przenosniki-promag.pl – Materiały firmowe firmy PROMAG.
- [4] www.europasystems.pl – Materiały firmowe firmy Europa Systems.

THE IDEA OF MODERNIZATION OF TRANSPORTATION SYSTEM OF MULTI-STATION ASSEMBLY LINE

The problems of modernization of industrial transportation system of multi-station assembly line are presented. The modernization was considered for assembly line with application of long chain conveyor. In the system with chain conveyor the assembly process requires the great frequency of undesirable operation of the drive system. In the developed modernization project the chain conveyor of great length has been replaced by the system of several roller conveyors with individual drive systems. The new modular system has great transportation flexibility and can be operated without the great frequency of switching. The calculations of rated power of roller conveyor drives permitted to state that the installed nominal power of the new designed drive system can be lower than in the old transportation system.