

ANALIZA MOŻLIWOŚCI BUDOWY WYSOKOWYDAJNYCH ELASTYCZNYCH LINII PAKOWANIA W OPARCIU O KONSTRUKCJE MODUŁOWE

The analysis of the possibility of building the high-efficiency, modular elastic packing lines

Jacek DOMIŃCZUK

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę znaczenia stosowania zespołów modułowych w procesie projektowania elastycznych linii pakowania. Prezentowane w pracy przykłady rozwiązań modułowych posłużyły do wyodrębnienia i wskazania czynników decydujących o stosowaniu tego typu rozwiązań w konstrukcjach zautomatyzowanych, charakteryzujących się wysoką wydajnością. Rozwiązania te dzięki swojej konfiguracyjnej elastyczności pozwalają na znaczące skrócenie czasu wytworzenia systemów produkcyjnych, jak również wpływają na obniżenie kosztów ich budowy. W wyniku przeprowadzonych analiz wskazano na potrzebę stosowania w procesie projektowania zespołów modułowych, co bezpośrednio przekłada się na zwiększenie konkurencyjności maszyn i urządzeń budowanych w oparciu o te rozwiązania.

Słowa kluczowe: linie montażowe, zespoły modułowe, projektowanie

Abstract: The analysis of the importance of applying modular units in the process of designing the elastic packing lines was introduced in the article. The examples of modular solutions presented in the work were used to isolate and indicate factors explaining applying this type of solutions when designing high efficiency, automated designs. These solutions, due to their configurational elasticity, allow shortening time of building the productive systems as well as lowering costs of building. As the result of conducted analyses, it was pointed that applying modular units in the process of designing, directly increases the competitiveness of machines and devices built basing on these solutions.

Key words: assembly lines, modular systems, designing

Wprowadzenie

Systemy wytwarzania (w tym pakowania) stosowane w przedsiębiorstwach, muszą zapewniać im przewagę konkurencyjną. Wiąże się to z potrzebą uzyskania wysokich wydajności oraz możliwości szybkiego reagowania na zmieniający się asortyment czy wersję produktu. W dużej mierze wymagania te zapewniają elastyczne systemy wytwarzania [6]. Wymagania jakie muszą spełniać systemy wytwórcze, w tym linie pakowania, niejednokrotnie powodują, że osiągnięcie zadawalającego poziomu elastyczności wiąże się ze znacznymi kosztami jej wytworzenia. Ważne jest przy tym odpowiednie zaplanowanie układu wytwórczego tak, by optymalnie wykorzystać jego możliwości.

Oczekiwaniem wielu producentów maszyn przemysłowych jest taka standaryzacja elementów składowych maszyn, aby tworzenie gotowych wyrobów mogło odbywać się przez ich budowę ze standardowych modułów, które mogą być łączone ze sobą w różnych konfiguracjach, zapewniając przy tym różną funkcjonalność. Tego typu rozwiązania są znacznie tańsze niż konstruowanie jednej specjalizowanej maszyny, której konfiguracja musi być zmieniana pod kątem każdego indywidualnego zamówienia. Modułowy sposób budowy tych urządzeń ma wiele zalet, gdyż charakteryzuje się [3]:

- krótkim czasem projektowania robotów i urządzeń, których poszczególne funkcje realizują poszczególne moduły,

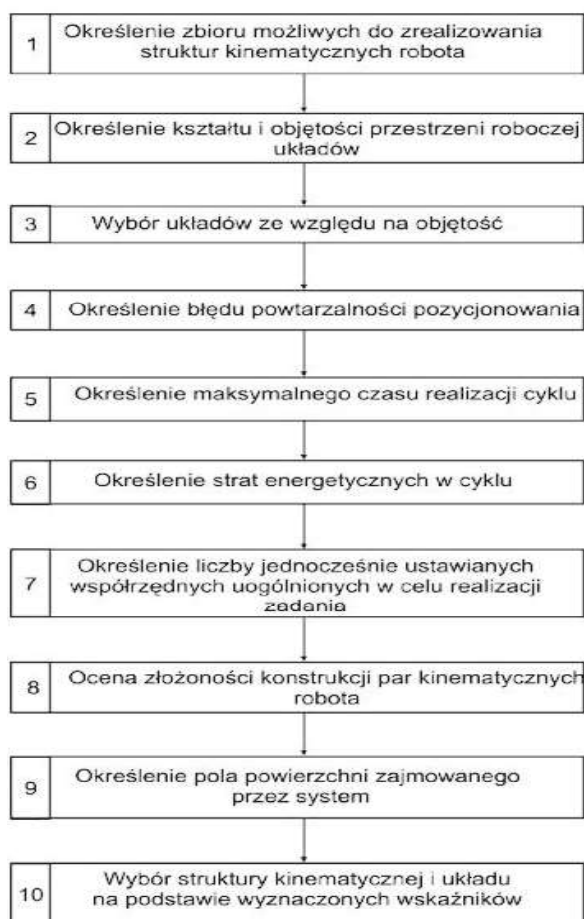
- skróceniem czasu przeznaczonego na testowanie i wdrażanie urządzenia do produkcji,
- szybkim, łatwym montażem i demontażem oraz szybkim usuwaniem skutków awarii,
- ponownym wykorzystaniem sprawnych modułów do budowy innych urządzeń.

Zalecane jest przy tym, aby dla osiągnięcia optymalnych parametrów pracy przy projektowaniu modułowego elastycznego stanowiska wytwórczego posługiwać się algorytmem zaproponowanym przez autora pracy [2] (rys. 1).

Postęp w zakresie budowy współczesnych maszyn i urządzeń technologicznych pociąga za sobą rosnące wymagania wobec urządzeń składających się na podsystemy transportu i manipulacji, które wykorzystywane są szczególnie w liniach wytwórczych [4].

Autor pracy [3] stwierdza, że konkurencyjność produkcji można określić następującymi krytycznymi parametrami: czas produkcji, jakość, szybka reakcja na częste zmiany wymagań rynku, racjonalne koszty produkcji. W praktyce uzyskanie optymalnej wielkości każdego z tych parametrów jest trudne do uzyskania przy stosowaniu wyłącznie zrobotyzowanych systemów wytwórczych [4].

Autor pracy [5] stwierdza, że wysoka elastyczność produkcji nie zawsze jest więc pożądaną cechą systemu i w pewnych przypadkach może negatywnie wpływać na zysk firmy. Jednak w firmach, które chcą brać aktywny



Rys. 1. Algorytm wyboru układu kinematycznego robota w procesach [2]

Fig. 1. The algorithm for selecting the robot kinematic system in processes [2]

udział we współzawodnictwie na rynku, elastyczność produkcji może pełnić pozytywną rolę strategiczną. W przypadku projektowania większości maszyn i urządzeń istnieje potrzeba stosowania rozwiązań o poziomie elastyczności przystosowanym do bieżących zadań, a jednocześnie dających możliwość wykorzystania potencjału w zakresie innowacji również w przyszłości [7, 8]. Niewątpliwie takim rozwiązaniem jest stosowanie rozwiązań zmodulowanych. Należy przy tym pamiętać, że zmniejszanie elastyczności przynosi korzyści w sensie zmniejszenia kosztów inwestycyjnych, ale jednocześnie obciążone jest ryzykiem ewentualnego braku możliwości wykorzystania niektórych rozwiązań w przypadku konieczności zmiany produkcji. W celu uzyskania konkurencyjnego rozwiązania konieczne jest więc umiejętne wykorzystanie wiedzy z różnych dziedzin tak, aby stosowane rozwiązania można było w przyszłości adaptować do nowych zadań [1].

Wymagania stawiane nowoczesnym liniom pakowania

W obecnych warunkach rynkowych jednym z podstawowych kryteriów oceny skuteczności działania linii jest jej wydajność. Linia musi być tak zaprojektowana,

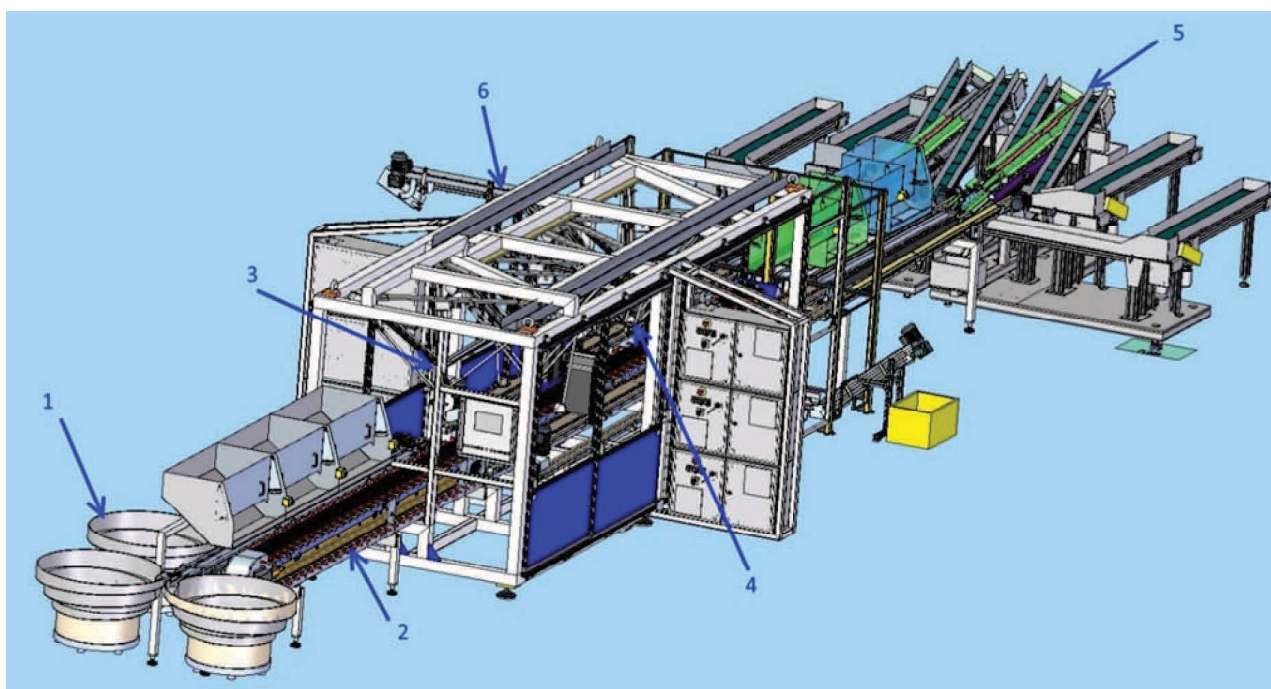
aby czas przepływu wyrobu był ściśle związany z innymi systemami wytwórczymi tak, aby minimalizować procesy składowania półwyrobów i wyrobów w magazynach. Istotnym celem jest tutaj optymalne wykorzystanie zasobów przedsiębiorstwa. Uwarunkowanie to determinuje wybór rozwiązań technicznych budowy linii szczególnie w obszarze doboru robotów, manipulatorów i napędów, jak również sposobie komunikacji między poszczególnymi modułami funkcjonalnymi. Z reguły krótsze czasy realizacji procesu powodują wzrost kosztów wytworzenia. Z uwagi na fakt, że linie pakowania są zbiorem powiązanych ze sobą i współpracujących mechanizmów, istnieje możliwość optymalizacji stosowanych rozwiązań z uwzględnieniem kryterium kosztów wytworzenia i eksploatacji [1].

Dużą zaletą stosowania systemów modułowych, w tym robotów przemysłowych, jest możliwość szybkiej oceny możliwości spełnienia przez wybrany zespół stawianych przed nim wymagań. Jeśli jest to wymagane, możliwe jest również przeprowadzenie testów potwierdzających realizowalność procesu na etapie planowania rozwiązania. Takie podejście nie jest możliwe w przypadku układów dedykowanych.

Jak wcześniej wskazano linia powinna pracować z wykorzystaniem całego swego potencjału. Powoduje to, że oczekuje się od niej wysokiego stopnia niezawodności. W przypadku awarii musi istnieć możliwość szybkiej jej naprawy gdyż z reguły przedsiębiorstwo nie dysponuje rozwiązaniami alternatywnymi jeśli chodzi o proces wytwórczy. W obecnie stosowanych liniach produkcyjnych użytkownicy z reguły ustalają czas w jakim linia powinna zostać uruchomiona w przypadku wykrycia usterki. To sprawia, że musi to być uwzględnione zarówno na etapie doboru elementów linii w celu osiągnięcia wysokiego stopnia niezawodności, ale również w zakresie stosowania rozwiązań konstrukcyjnych, dających możliwość dokonania naprawy w określonym czasie [1].

Obecnie coraz częściej w procesie projektowania linii montażowych brane jest pod uwagę kryterium czasu wytworzenia linii. Przedsiębiorstwa często decydują się na realizację określonego przedsięwzięcia inwestycyjnego w krótkim czasie, co z kolei wymusza na projektantach wybór rozwiązań które to zapewnią. To powoduje konieczność stosowania rozwiązań gotowych w zakresie napędów, transportu czy pozycjonowania. Z czasem wytworzenia linii ściśle związany jest czas projektowania. Projektanci często wybierają rozwiązania sprawdzone, gwarantujące realizowalność procesu bez ryzyka wprowadzania poprawek. To powoduje, że projektowanie staje się sztuką doboru rozwiązań i wymaga szerokiej wiedzy z zakresu stosowanych technologii oraz orientowania się w zakresie nowych rozwiązań oferowanych przez firmy z obszaru automatyki przemysłowej [1].

Wcześniej wymienione kryteria powodują, że obok systemów dedykowanych i elastycznych tworzone są rozwiązania zawierające moduły funkcjonalne które



Rys. 2. Modułowa elastyczna linia pakowania: 1 – zespół wydawania koszyczków, 2 – podajnik koszyczków, 3 – system pozycjonowania koszyczków, 4 – system pakowania kostek, 5 – podajniki wydające kostki, 6 – zespół podajników odbierających produkt
 Fig. 2. Modular flexible packaging line: 1 – unit releasing cartridges, 2 – cartridge feeder, 3 – cartridge positioning system, 4 – freshener bar packaging system, 5 – freshener bar feeder, 6 – group of end product receivers

mogą być wielokrotnie wykorzystywane, a jednocześnie zapewniają możliwość minimalizowania kosztów utrzymania technicznego linii. Dodatkowo to podejście daje możliwość skrócenia czasów wytworzenia systemu, gdyż oparte jest ono na znanych i stosowanych rozwiązaniach technicznych, które to rozwiązania są sprawdzone pod względem funkcjonalności i niezawodności.

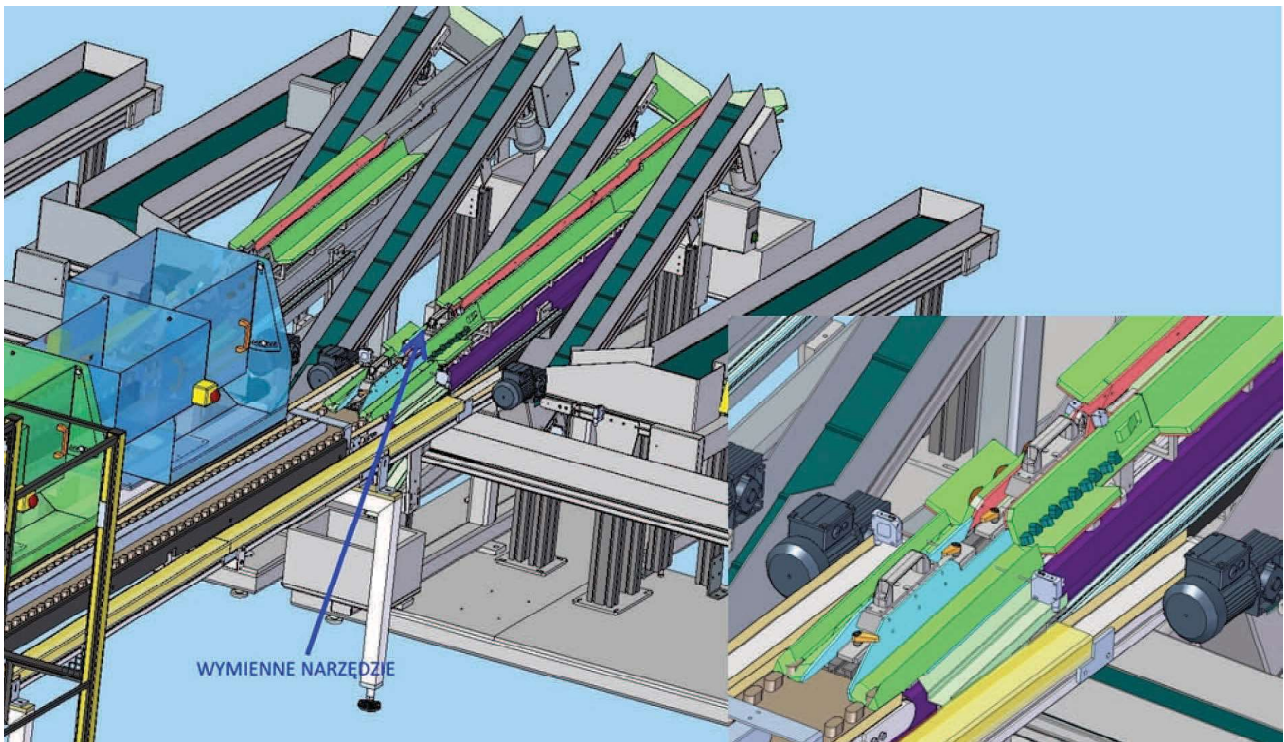
Zmodularyzowana wysokowydajna linia pakowania

Stosowanie systemów modułowych jest coraz częściej wykorzystywane w nowo projektowanych liniach pakowania. Modularyzacja dotyczy tu nie tylko napędowych ale również coraz częściej całych modułów wykonawczych. Dzięki stosowaniu takich rozwiązań możliwe jest posługiwanie się przez konstruktorów gotowymi i sprawdzonymi rozwiązaniami. Wpływa to nie tylko na brak potrzeby przeprowadzania testów układów funkcjonalnych pod względem niezawodności, ale również bezpośrednio wpływa na czas projektowania związanego ściśle z tworzeniem modeli mechanizmów które są już stworzone dla danych rozwiązań. Zadaniem projektanta jest jedynie wybór określonego rozwiązania i adaptacja go w tworzonej linii. Na rys. 2. przedstawiono zmodularyzowaną linię pakowania kostek toaletowych. Linia ta została zaprojektowana z uwzględnieniem potrzeby osiągnięcia wydajności nie mniejszej niż wyrób na 1 s. Przy tym linia zapewnia możliwość pakowania kostek o różnych wymiarach geometrycznych jak również możliwość częściowej obsługi ręcznej w przypadku wystąpienia produktów dla których pełna automatyzacja

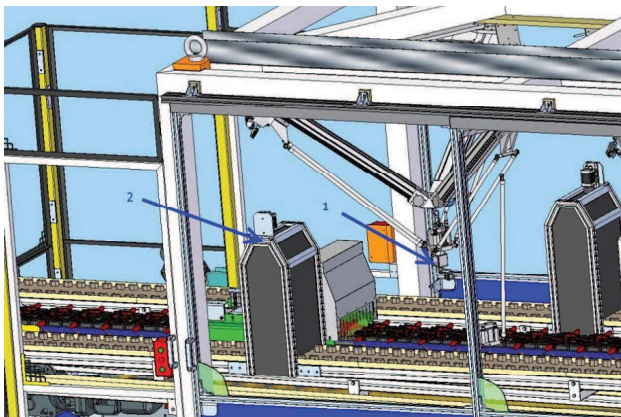
procesu byłaby nieopłacalna. Przy projektowaniu linii zwrócono szczególną uwagę na możliwość zapewnienia poprawnego przebiegu procesu przy wykorzystaniu dostępnych modułów handlowych. Należą do nich podajniki wibracyjne, wysokowydajne roboty przemysłowe, przenośniki taśmowe, przenośnik łańcuchowy, optyczne systemy detekcji. Zastosowanie zespołów modułowych daje również korzyści związane ze skróceniem czasu wytworzenia linii. Gotowe podzespoły dostarczane są już zmontowane przez ich producentów, na których również spoczywa odpowiedzialność za prawidłowość ich działania.

Na rys. 3 przedstawiono podajnik wibracyjny wydający kostki. Jest on w stanie wydawać kostki o różnych wymiarach geometrycznych, a zmiana jego konfiguracji polega na wymianie jedynie zespołu wydającego w czasie krótszym niż 5 min. Roboty pakujące są zaopatrzone w narzędzie uniwersalne podciśnieniowe, pozwalające na pobieranie kostek o prawie dowolnym kształcie zawierającym powierzchnię odpowiadającą wymiarowi narzędzia. Robot może je dowolnie orientować i umieszcza w koszyczkach.

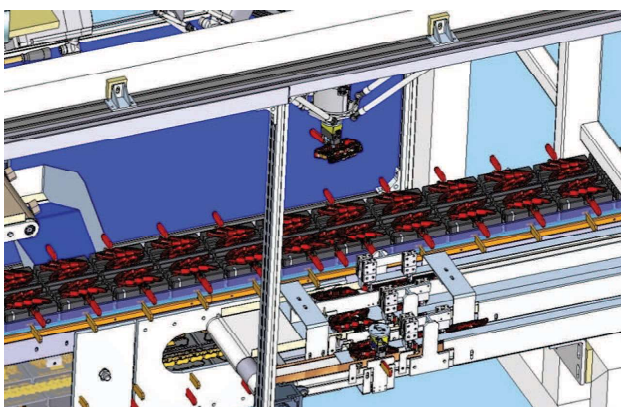
Informacja o orientacji podawanej do robota kostki jest zapewniona przez zespół identyfikacji, oparty na czujniku wizyjnym zamocowanym nad podajnikiem taśmowym (rys. 4). Koszyczki do umieszczenia kostek są wydawane przez podajniki wibracyjne, a następnie za pomocą robota umieszczane w gniazdach podajnika (rys. 5). Sposób chwytania i przenoszenia koszyczków jest wspólny dla wszystkich typów. Gniazda podajnika łańcuchowego są rekonfigurowane, a dodatkowo istnieje



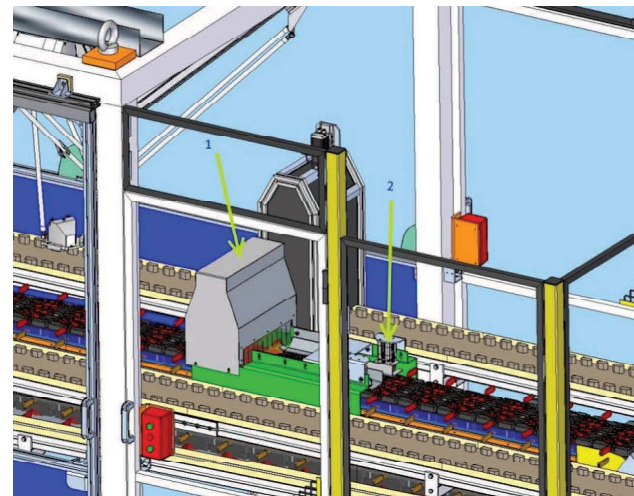
Rys. 3. Zespół podajników wibracyjnych wydających kostki
 Fig. 3. The group of vibrational feeders releasing freshener bar



Rys. 4. 1 – robot pakujący kostki, 2 – system detekcji
 Fig. 4. 1 – freshener bar packaging robot, 2 – detection system



Rys. 5. System wydawania koszyczków do przenośnika łańcuchowego
 Fig. 5. System for relasing cartridge to chain conveyor



Rys. 6. Modułowy system zamykania i kontroli: 1 – moduł kontroli, 2 – moduł zamykania
 Fig. 6. Modular system of closing and control: 1 – control module, 2 – closing module

możliwość ich szybkiej wymiany w czasie nieprzekraczającym 10 minut. Koszyczki są zamykane przez modułowy system zamykania i kontroli, sprawdzający poprawność realizacji procesu z wykorzystaniem systemu wizyjnego (rys. 6).

Budowa modułowa, a tym samym duża powtarzalność stosowanych rozwiązań, głównie z obszaru napędów sprawia, że znacząco zmniejsza się liczba magazynowanych części zamiennych. Niewątpliwą korzyścią jest również skrócenie czasu programowania linii. Dla stosowanych modułów możliwe jest bowiem stworzenie

bloków funkcjonalnych, a następnie w trakcie programowania określenie wyłącznie parametrów ich pracy. Działanie to minimalizuje możliwość popełnienia błędów i znacząco skraca czas uruchomienia linii.

Zastosowany system modułowy pozwala na dalszą rozbudowę linii w celu osiągnięcia jak największego stopnia automatyzacji procesu z zachowaniem dużej elastyczności w zakresie pakowanych produktów.

Podsumowanie

Zaprezentowane w pracy rozwiązanie, polegające na stosowaniu modularyzacji w projektowaniu linii pakowania, pozwala na osiągnięcie szeregu korzyści zarówno w obszarze projektowania jak i eksploatacji linii wytwórczej. Stanowi ono połączenie systemu zrobotyzowanego z prostymi podajnikami modułowymi, co w konsekwencji pozwala na osiągnięcie dużej elastyczności układu. Możliwość obsługi ręcznej w zakresie wydawania koszyczków i kostek dodatkowo powiększa jej możliwości produkcyjne jeśli chodzi o pakowany asortyment. Prezentowane rozwiązanie łączy w sobie najnowsze rozwiązania z zakresu robotyki, automatyki i detekcji rozumianej tutaj jako kontrola wizyjna. W prezentowanym rozwiązaniu robot traktowany jest jako jeden z wielu modułów funkcjonalnych linii. Ogólna zasada pozwalająca na optymalne wykorzystanie modularyzacji przy wytwarzaniu linii zakłada stosowanie takich samych rozwiązań konstrukcyjnych zespołów funkcjonalnych wszędzie tam gdzie jest to możliwe i ekonomicznie uzasadnione. Wszystkie te działania sprawiają, że moduły budowanych linii w oparciu o prezentowaną koncepcję mogą być po zakończeniu ich użytkowania wykorzystywane w nowo budowanych liniach, jak również zapewniają możliwość ciągłego doskonalenia istniejącego rozwiązania. Wykorzystanie konstrukcji modułowych zapewnia możliwość: szybkiego zaprojektowania nowych linii, zapewnienia ich prawidłowości działania bez konieczności wykonywania prototypów, skraca czas wytwarzania i montażu. Dzięki stworzeniu oprogramowania dla

poszczególnych modułów maszyny istnieje możliwość zapisania ich w postaci bibliotek, można później je łatwo wykorzystywać przy tworzeniu oprogramowania sterownika dla całej linii. Dzięki wspólnemu mechanizmowi komunikacji, podczas opracowywania programu kompletnej maszyny, istnieje jedynie potrzeba skonfigurowania zależności funkcjonalnych pomiędzy obiektami.

LITERATURA

- [1] Domińczuk J. 2015. „Znaczenie modularyzacji w procesie projektowania i użytkowania linii montażowych”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (3): 9–12.
- [2] Honczarenko J., A. Berliński. 2006. „Zastosowanie komponentów mechatronicznych w budowie zrobotyzowanych systemów produkcyjnych”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (3): 5–8.
- [3] Kluz R. 2012. „Projektowanie modułowego stanowiska montażowego”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (1): 9–13.
- [4] Koch T. 2006. „Systemy zrobotyzowanego montażu”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [5] Matta A., Q. Semeraro. 2005. “Design advanced manufacturing systems – models for capacity planning in advanced manufacturing systems”. New York: Springer.
- [6] Świć A., W. Taranienko. 2003. „Projektowanie technologiczne elastycznych systemów produkcyjnych”. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej.
- [7] Palchevski B. 2013. “Information aspects of optimization synthesis of functional-modular structure of technological equipment”. *Applied Computer Science* vol. 9.
- [8] Stamirowski J. 2012. „Wprowadzenie do projektowania elastycznych systemów produkcyjnych w kontekście zmienności produkcji”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (1): 37–40.

dr inż. Jacek Domińczuk – Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: j.dominczuk@pollub.pl