

ZBROWSKI Andrzej, SAMBORSKI Tomasz, ZACHARSKI Szymon

BADANIA PROTOTYPU LINII TECHNOLOGICZNEJ DO WYTWARZANIA KART WIELOWARSTWOWYCH Z UKŁADAMI RFID

Streszczenie

W artykule przedstawiono badania prototypu linii technologicznej do wytwarzania identyfikatorów RFID. Badania przeprowadzono z zastosowaniem opracowanej metodyki badań urządzeń prototypowych wykonywanych jednostkowo. Omówiono zagadnienia związane z metodyką, przedstawiając podstawowe założenia oraz problemy natury metodologicznej występujące podczas badania prototypowych urządzeń jednostkowych. Zaprezentowano studium przypadku w postaci badania skomplikowanego urządzenia składającego się z 25 modułów funkcjonalnych złożonych z ponad 13000 pojedynczych elementów. Pokazano wybrane problemy związane z funkcjonowaniem i prawidłową pracą ciągu technologicznego.

WSTĘP

W przypadku urządzeń unikatowych bardzo trudnym zadaniem jest proces badań weryfikacyjnych i testowych prototypu fizycznego [2, 3, 4]. Ograniczenia czasowe oraz minimalna ilość danych uzyskiwanych w badaniach pojedynczego rozwiązania zawsze wywołują znaczne ryzyko związane z funkcjonowaniem urządzeń technicznych o wysokim stopniu innowacyjności, projektowanych i wykonywanych jedynie w postaci prototypu [5]. Podstawowym ograniczeniem jest tylko jeden egzemplarz powstałego prototypu, który uniemożliwia stosowanie wieloetapowej, iteracyjnej metody doskonalenia rozwiązania oraz eliminuje wykorzystanie metod niszczących.

1. METODYKA BADAŃ PROTOTYPÓW

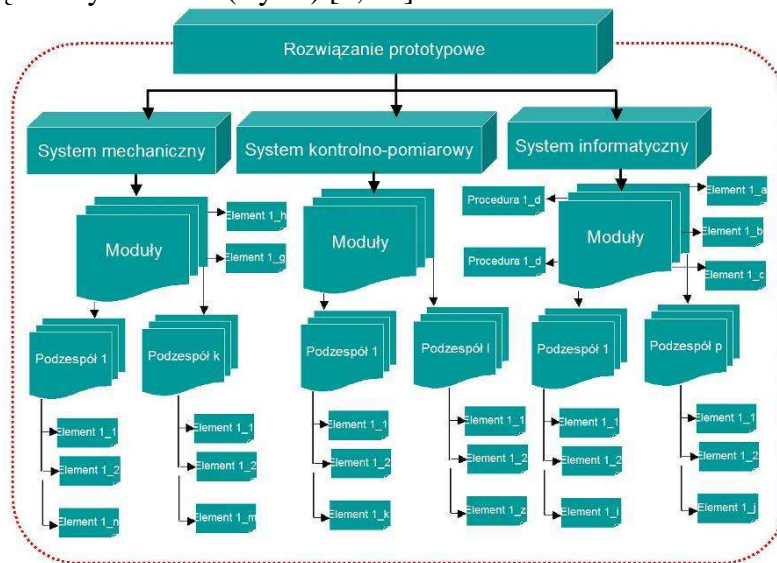
Główne problemy natury metodologicznej oraz informacyjnej występujące przy badaniu prototypowych urządzeń jednostkowych są związane z:

- wyznaczeniem zbioru elementów strukturalnych zastosowanych na różnych poziomach funkcjonalnych urządzenia, które powinny zostać poddane badaniom,
- wyznaczeniem rodzaju i czasu badań testowych,
- doбором metod badań weryfikacyjnych oraz planowaniem eksperymentów,
- brakiem informacji statystycznych wynikającym z minimalnej ilości badanych obiektów,
- ustaleniem zależności przyczynowo - skutkowych powstawania potencjalnych awarii i uszkodzeń krytycznych,
- pozyskiwaniem i gromadzeniem danych niezbędnych do budowy modeli symulacyjnych oraz metod wnioskowania o ewentualnych właściwościach eksploatacyjnych urządzeń, jak też informacji o procesie badania jakości prototypu,

Metody statystyczne w przypadku badań rozwiązań prototypowych mogą być zastosowane w ograniczonym stopniu. Wynika to z faktu, że dostępna jest zwykle niewystarczająca populacja do ich zastosowań. Metody TQM są zbyt rozbudowane i ich wdrożenie w pełnym zakresie jest nadmierowe, ponieważ powinny obejmować, podobnie jak metody CRI, cały cykl życia produktu. Najbardziej użyteczne do opracowania w miarę uniwersalnej metody badań prototypowych można uznać stosowane w analizie rodzajów i skutków błędów, dopasowaniu funkcji jakości oraz modele stosowane w systemach RCM [8, 9]. W metodyce dedykowanej do badań prototypów powinny zostać uwzględnione zagadnienia planowania eksperymentu (DOE) ze względu na wymagania optymalizacyjne. Na podstawie zaleceń i wymagań metod z obszaru „*The Scoreboard for Maintenance Excellence*”, jak również modeli EOQC, Crosby’ego, Oaklanda oraz zbioru norm PN–ISO 9000, ISO 9001, ISO 9004, ISO 9011 stwierdzono, że w metodyce należy uwzględnić zbiór parametrów ilościowych i jakościowych opisujących między innymi:

- właściwości fizyczne i chemiczne rozwiązania prototypowego, np. : wymiary, skład chemiczny, własności fizykochemiczne;
- parametry ekonomiczne, np.: koszty wytworzenia, koszty badań, prognozowane koszty eksploatacji, okres amortyzacji itp.,
- właściwości użytkowe, np.: bezpieczeństwo, trwałość, niezawodność,
- właściwości ergonomiczne,
- właściwości estetyczne,

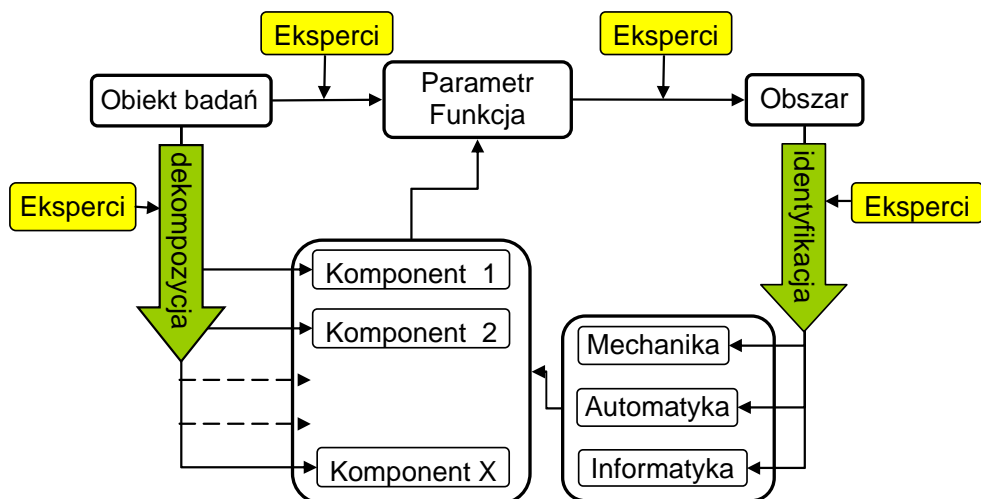
Uwzględnienie wielu składowych charakteryzujących prototyp skutkuje powstaniem wielowymiarowej macierzy parametrów ilościowych i jakościowych, a każde rozwiązanie prototypowe wymaga dekompozycji na mniejsze systemy, analizy tych systemów i syntezy otrzymanych cząstkowych analiz (Rys.1) [1, 10].



Rys. 1. Hierarchiczna struktura charakteryzująca prototypowe rozwiązanie.

Źródło: Kolekcja autora

Metodyka wymaga wyboru grupy roboczej, która przeprowadzi badania prototypu. W grupie tej muszą znaleźć się analitycy systemowi, metrologowie, diagnostycy, specjaliści z zakresu inżynierii systemów, eksperci posiadający wiedzę o elementach, podzespołach, modułach wykorzystanych do budowy prototypu. Grupę tą uzupełniają powinny osoby wykonujące prace rozwojowe polegające na testowaniu poprawności działania prototypu oraz weryfikacji czy posiada on zakładane funkcjonalności. Analitycy systemowi przy współpracy z twórcami przeprowadzają dekompozycję strukturalną rozwiązania prototypowego na elementy, podzespoły, moduły (Rys. 2).



Rys. 2. System dekompozycji prototypów.

Źródło: Opracowanie autora

Przed przystąpieniem do analizy formułowane są szczegółowe cele analiz oraz definiowana jest macierz parametrów technicznych prototypu. Dziedziny parametrów technicznych charakteryzujących prototyp i jego składowe¹, w szczególności wartości minimalne, maksymalne lub nominanty muszą zostać dobrane w taki sposób, żeby spełnione zostały zakładane wymagania odbiorcy. Określenie wpływu modułów na uzyskanie parametru technicznego urządzenia dokonuje się na podstawie sumy iloczynów współczynników ważności kolejnych wymagań funkcjonalnych i współczynników ich zależności z danym parametrem technicznym. Jeżeli W_i jest współczynnikiem ważności wymagania i , a Z_{ij} jest współczynnikiem zależności pomiędzy wymaganiem i oraz modulem funkcjonalnym j , to całkowity wpływ modułów na uzyskanie parametru technicznego T_{ij} urządzenia wyznaczany jest na podstawie zależności:

$$T_{ij} = \sum_{j=1}^i W_i Z_{ij}$$

Określenie wpływu pojedynczego modułu na uzyskanie parametrów technicznych urządzenia można dokonać na podstawie sumy iloczynów współczynników ważności kolejnych wymagań funkcjonalnych i współczynników ich zależności z wytypowanym parametrem technicznym. Jeżeli W_i jest współczynnikiem ważności wymagania i , a Z_{ij} jest współczynnikiem zależności pomiędzy wymaganiem i oraz modulem funkcjonalnym j , to całkowity wpływ pojedynczego modułu na uzyskanie parametrów technicznych U_{ij} urządzenia wyznaczany jest na podstawie zależności:

$$U_{ij} = \sum_{i=1}^i W_i Z_{ij}$$

Macierz stworzona z parametrów wpływu modułu na parametr $W_i Z_{ij}$ pozwala na opracowanie hierarchii badań prototypu.

¹ elementy, podzespoły, moduły lub procedury

Tab. 1. Macierz wpływu modułów na uzyskanie parametru technicznego urządzenia.

		Parametr			U_{ij}	
		1	...	i		
Moduł	1	$W_1 Z_{11}$	...	$W_i Z_{i1}$	$\sum_{i=1}^i W_i Z_{i1}$	$1, 2, \dots, 5$ → W_i
	
	j	$W_1 Z_{1j}$	...	$W_i Z_{ij}$	$\sum_{i=1}^i W_i Z_{ij}$	$0, 1, \dots, 5$ → Z_{ij}
T_{ij}		$\sum_{j=1}^j W_1 Z_{1j}$	....	$\sum_{j=1}^j W_i Z_{ij}$		

Dzięki zaproponowanej strukturze możliwa jest iteracyjna, systemowa analiza rozwiązania prototypowego, a przyporządkowanie na każdym szczeblu hierarchii zbioru przyczyn potencjalnych awarii lub braku funkcjonalności oraz metod badań składowych strukturalnych prototypu pozwala budować zbiory scenariuszy realizacji badań prototypu i planować eksperymenty. Opracowaną strukturę można wykorzystywać do zarówno do prostych, jak i bardzo złożonych rozwiązań prototypowych.

2. OBIEKT BADAŃ

Przykładem prototypu o złożonej strukturze, zaprojektowanego i wykonanego przez Instytut Technologii Eksploatacji, jest linia technologiczna służąca do wytwarzania krótkich serii identyfikatorów elektronicznych z zabezpieczeniem RFID (Rys. 3). Na system ten składa się 25 modułów funkcjonalnych złożonych w sumie z ponad 13000 pojedynczych elementów, w tym kilkanaście serwonapędów oraz kilkadziesiąt siłowników pneumatycznych [6, 7]. Moduły ciągu technologicznego są odrębnymi zespołami funkcjonalnymi służącymi do realizacji określonych procesów. Opracowany system pozwala na elastyczne wytwarzanie prototypowych identyfikatorów o wysokim poziomie zabezpieczeń oraz zwiększonej trwałości.



Rys. 3. Linia technologiczna do wytwarzania kart wielowarstwowych
Źródło: Kolekcja autora

Przeznaczeniem linii jest montaż wielowarstwowego dokumentu składającego się z podłoża w postaci wstęgi papieru, inletpu RFID oraz warstwy zakrywającej. Montaż ten może być realizowany w technologii klejenia klejami typu „hot melt”, klejami dyspersyjnymi lub z wykorzystaniem taśmy transferowej z błoną klejową. Produkcja identyfikatorów odbywa się poprzez taktowaną, cykliczną i szeregową pracę systemu. Poszczególne operacje

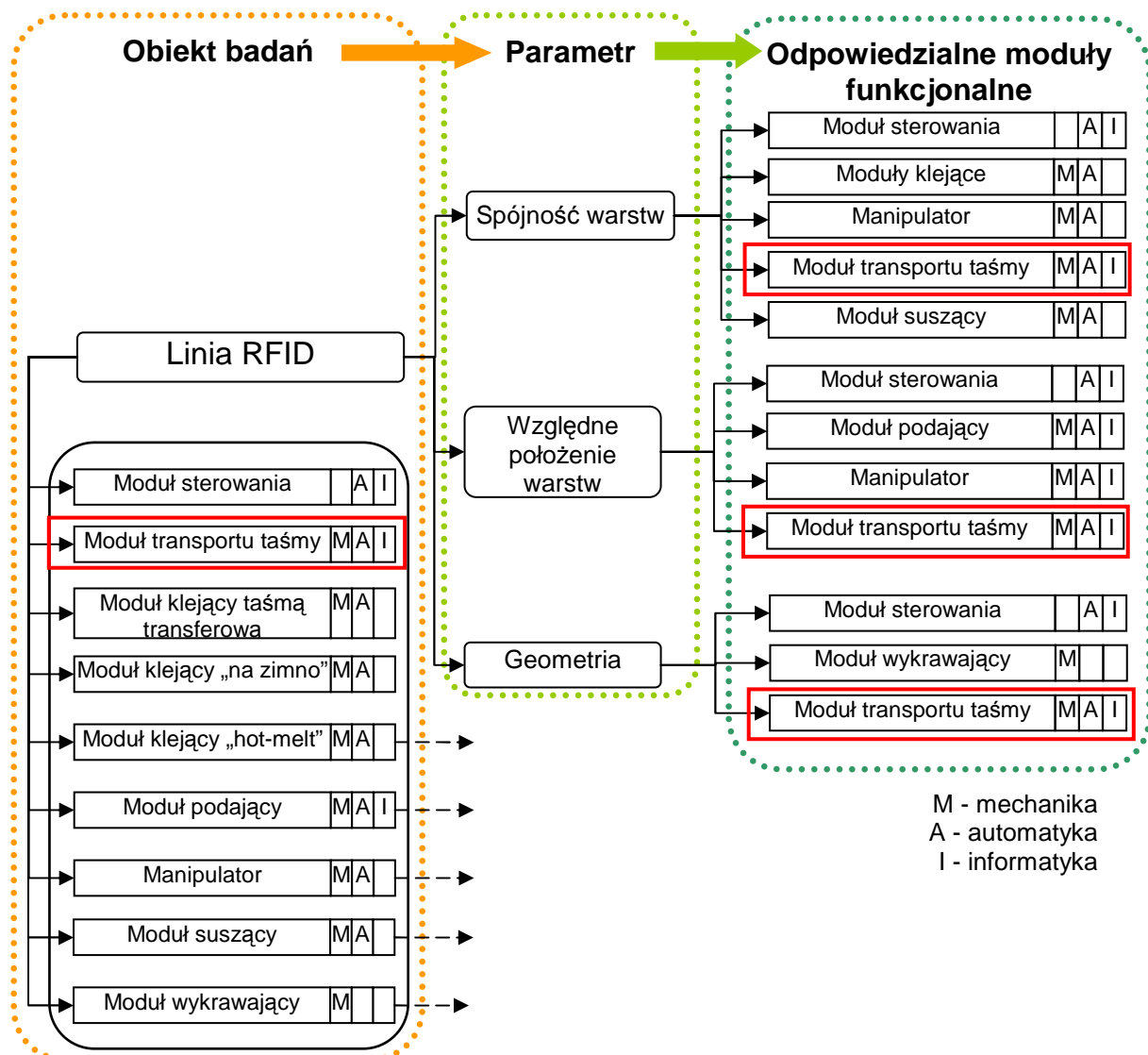
technologiczne są wykonywane jednocześnie w wymaganych modułach przy zatrzymanej taśmie nośnej.

3. DEKOMPOZYCJA STRUKTURALNA PROTOTYPU

Opracowana w ITeE - PIB metodyka badań prototypów zakłada w pierwszym etapie dekompozycję prototypu na moduły i elementy będące nowymi rozwiązaniami, które decydują o funkcjach, parametrach, trwałości i niezawodności całego systemu.

Badania prototypu rozpoczęto od przeprowadzenia dekompozycji funkcjonalnej i strukturalnej systemu (Rys. 4). Następnie do systemu i poszczególnych modułów przypisane zostały parametry i funkcje, które powinny być spełnione w prawidłowo działającym ciągu technologicznym.

W kolejnym etapie wszystkim funkcjom i parametrom zostały przyporządkowane podzespoły i elementy stanowiące potencjalne źródło niesprawności pojedynczego modułu bądź całego systemu. Do wszystkich tych elementów zostały przyporządkowane dziedziny potencjalnych niesprawności (M - mechanika, A - automatyka, I - informatyka).



Rys. 4. Schemat dekompozycji ciągu technologicznego do wytwarzania identyfikatorów RFID.

Źródło: Opracowanie własne

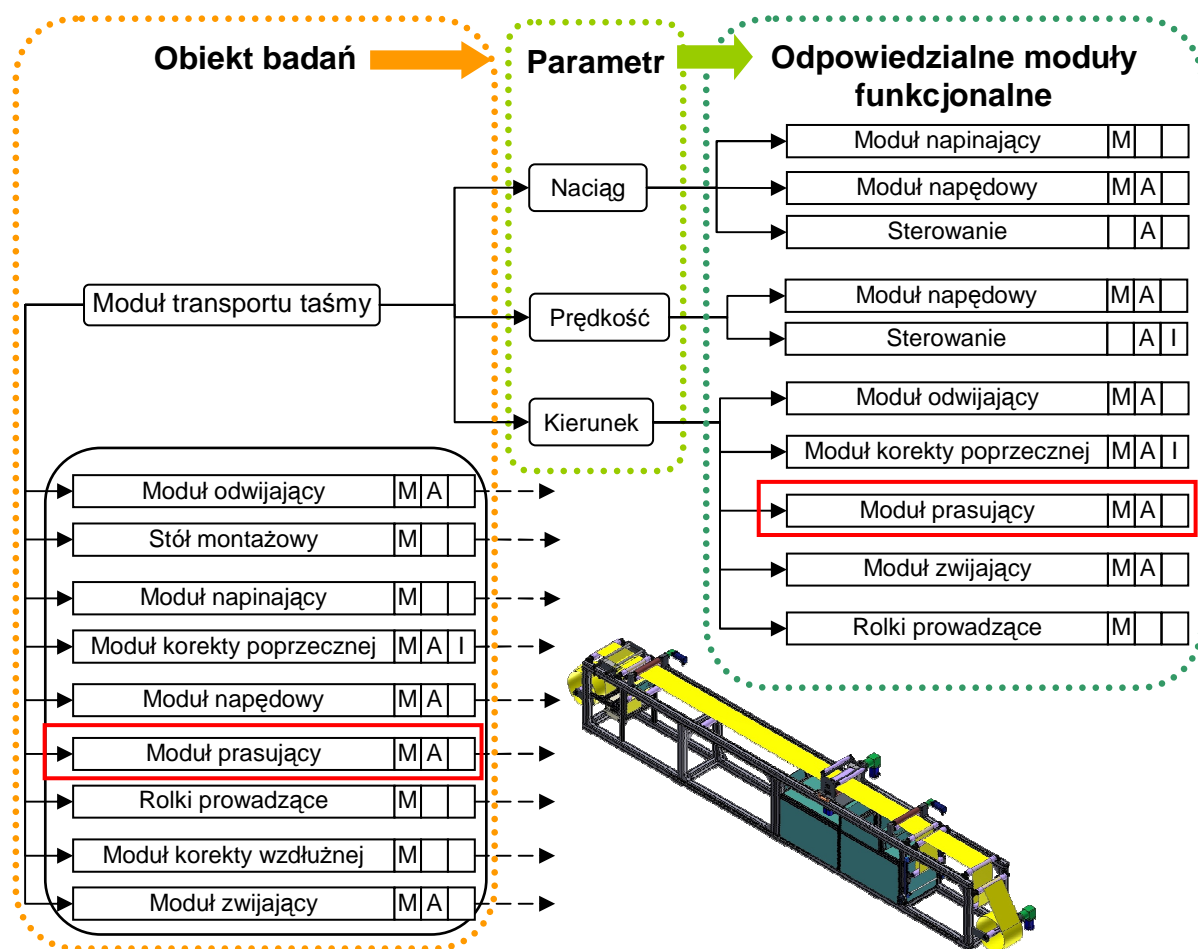
Jeden moduł strukturalny może być odpowiedzialny za kilka parametrów urządzenia - moduł transportu taśmy odpowiada za wszystkie parametry - spójność, geometrię wyrobu oraz względne położenie jego warstw (Rys. 4).

Kolejnym etapem po wyznaczeniu przez ekspertów procedury rekurencyjnej dekompozycji systemu jest ustalenie kolejności badań testowych poszczególnych modułów. Dla każdego z parametrów dobierany jest współczynnik ważności wymagania W_i ze skali 1 - 5, a następnie dla każdego modułu współczynnik zależności pomiędzy wymaganiem oraz parametrem technicznym. Współczynnik zawiera się w przedziale 0 - 5 i określa wpływ działania modułu na możliwość osiągnięcia wymagania. Iloczyn wartości jest wpływem modułu na uzyskanie parametru technicznego. Suma poszczególnych iloczynów jest wpływem modułu na poprawność pracy całego systemu. Jak wynika z tabeli poniżej największy wpływ na pracę ciągu technologicznego ma moduł transportu taśmy.

Tab. 2. Macierz wpływu modułów ciągu technologicznego na uzyskanie parametrów technicznych.

Komponent (j) \ Parametr (i)	Spójność warstw			Względne położenie warstw			Geometria			U_{ij}
	W_i	Z_{ij}	T_i	W_i	Z_{ij}	T_i	W_i	Z_{ij}	T_i	
Moduł sterowania	5	5	25	4	5	20	4	4	16	61
Moduł transportu taśmy		5	25		5	20		5	20	65
Moduł klejący TT		5	25		3	12		3	12	49
Moduł klejący HM		5	25		3	12		3	12	49
Moduł klejący NZ		5	25		3	12		3	12	49
Moduł podający		0	0		3	12		4	16	28
Manipulator		2	10		5	20		5	20	50
Moduł suszący		3	15		0	0		3	12	27
Moduł wykrawający		0	0		0	0		4	16	16
T_{ij}			150					108	136	

Moduł odpowiada za transport i odpowiednie zatrzymywanie wstęgi wraz z montowanymi na niej pozostałymi składnikami wyrobów odpowiada moduł transportu taśmy. Moduł wywołuje odpowiednie naprężenie wstęgi powodujące wyrównanie materiału oraz zachowanie stabilnej odległości kolejnych użytków na wstędze. Moduł poddany został dekompozycji strukturalnej (Rys. 5), a następnie przygotowana została hierarchia badań podzespołów modułu. Do przedstawienia przykładowych badań testowych wytypowano moduł prasujący.



Rys. 5. Moduł transportu taśmy : a) schemat dekompozycji b) widok modelu
 Źródło: Opracowanie własne.

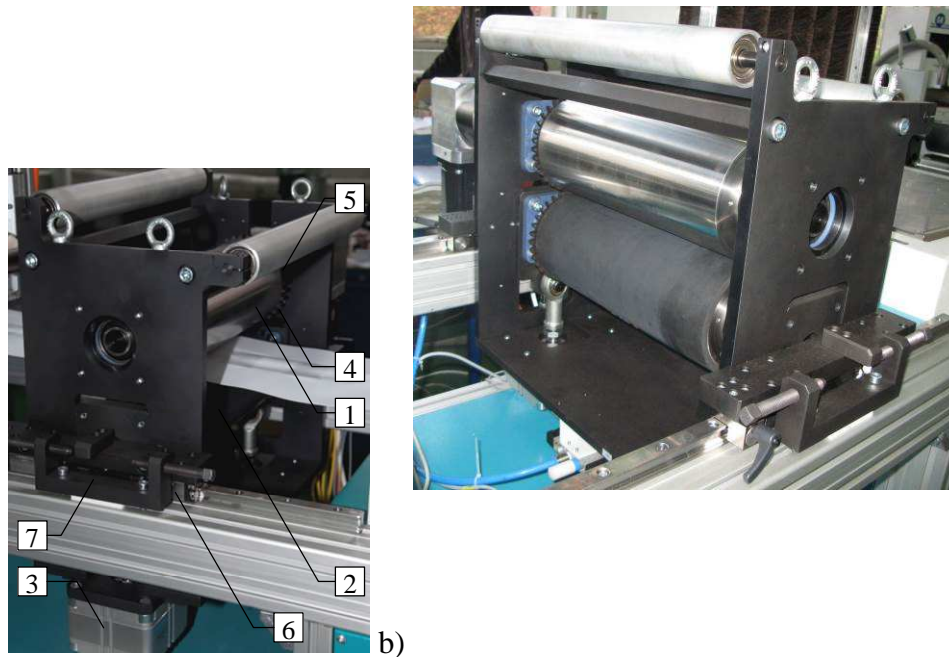
Tab. 3. Macierz wpływu komponentów modułu transportu taśmy na uzyskanie jego parametrów technicznych .

Komponent \ Parametr	Naciąg			Prędkość			Kierunek			U_{ij}
	W_i	Z_{ij}	T_i	W_i	Z_{ij}	T_i	W_i	Z_{ij}	T_i	
Moduł odwijający	5	4	20	4	5	20	4	2	8	48
Stół montażowy		0	0		0	0		1	4	4
Moduł napinający		5	25		2	8		4	16	49
Moduł korekty poprzecznej		0	0		0	0		5	20	20
Moduł napędowy		5	25		5	20		5	20	65
Moduł prasujący		0	0		3	12		5	20	32
Rolki prowadzące		0	0		0	0		5	20	20
Moduł korekty wzdłużnej		0	0		0	0		0	0	0
Moduł zwijający		3	15		3	12		0	0	28
T_{ij}		85		72		132				

Moduł prasujący jest podzespołem modułu transportu taśmy i służy do docięnięcia elementów klejonych w poprzednich operacjach ciągu technologicznego.

Moduł zbudowany jest z wału 1 ze stali nierdzewnej i wału 2 pokrytego gumą. Układ napędu modułu składa się z serwonapędu, przekładni kątowej i sprzęgła Oldhama. Wał dolny dociskany jest do wału napędowego za pomocą pary siłowników pneumatycznych 3, wały są

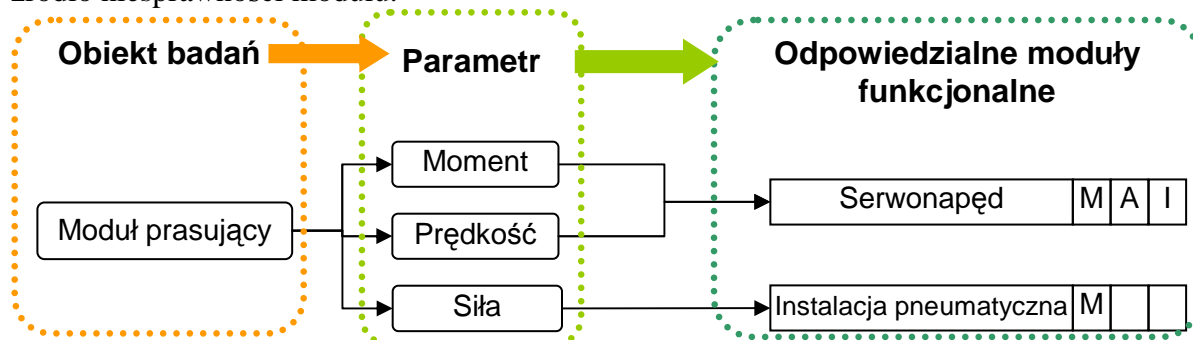
sprężone kinematycznie ze sobą za pomocą pary kół zębatach 4. Rolki prowadzące 5 umożliwiają zmianę sposobu prowadzenia wstęgi. Możliwość regulacji wzdłużnej położenia modułu względem linii technologicznej jest następstwem zastosowania wózków prowadzących 6 wraz z układem do precyzyjnej nastawy położenia 7.



Rys. 6. Moduł prasujący: a) widok z taśmą nośną b) widok bez taśmy nośnej : 1 - wał stały, 2 - wał dociskany, 3 - siłownik pneumatyczny, 4 - koło zębate, 5 - rolka prowadząca, 6 - wózek prowadzący,

Źródło: Kolekcja autora

Zgodnie z opracowaną metodyką modułowi przypisano najważniejsze parametry. Następnie poszczególnym parametrom przypisano zespoły i elementy stanowiące potencjalne źródło niesprawności modułu.



Rys. 7. Schemat dekompozycji modułu prasującego

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z przedstawioną metodyką opracowano hierarchię badań podzespołów modułu prasującego.

Tab. 4. Macierz wpływu komponentów modułu prasującego na uzyskanie jego parametrów technicznych.

Komponent \ Parametr	Moment			Prędkość			Siła			U_{ij}
	W_i	Z_{ij}	T_i	W_i	Z_{ij}	T_i	W_i	Z_{ij}	T_i	
Serwonapęd	4	5	20	5	5	25	5	0	0	45
Instalacja pneumatyczna		0	0		0	0		25	25	
T_{ij}			20				25			25

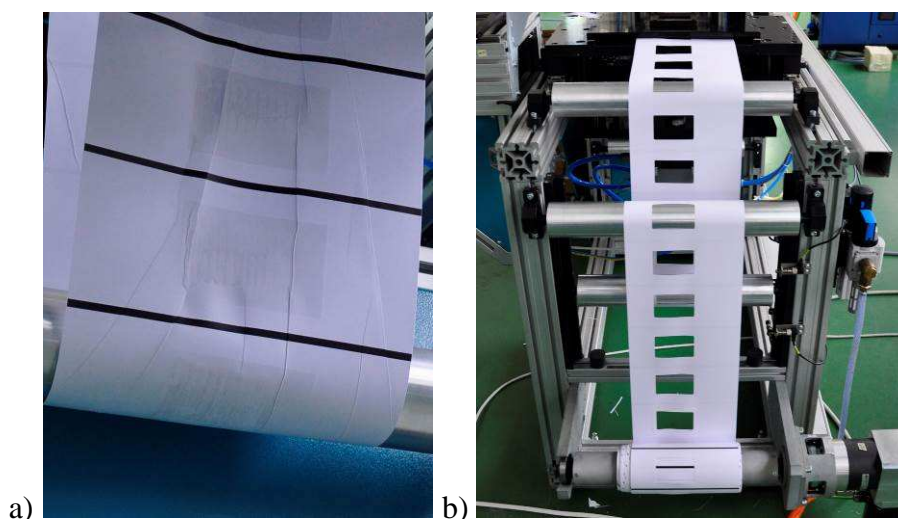
4. BADANIA TESTOWE

Badania rozpoczęto od sprawdzenia poprawności wykonywania ruchu obrotowego wału napędowego realizowanego przez serwonapęd. W następnym etapie badań sprawdzona została możliwość wykonywania przez wałek dolny ruchu dociskającego do górnego wałka napędowego oraz wpływ siły dociskającej na zmianę prędkości oraz momentu serwonapędu.

Z powodu złożoności ciągu technologicznego i wzajemnych relacji pomiędzy modułami kolejna część badań prototypu modułu prasującego została przeprowadzona podczas badań prototypu całego ciągu.

W czasie badań wynikła potrzeba precyzyjnego ustawienia równoległości wałów oraz skoku siłowników pneumatycznych. Parametry te wpływają na geometrię wyrobu finalnego - nierównoległość wałów powoduje zmianę położenia poprzecznego wstęgi nośnej powodując nieprawidłowości wyrobów (Rys. 8).

Ostatnią zmianą wprowadzoną w budowę modułu prasującego była zmiana położenia wałów. Wał pokryty warstwą gumy pierwotnie służący jako wał dociskający został zamontowany do przekładni kątowej serwonapędu, a wał gładki wykonany ze stali nierdzewnej pierwotnie pełniący funkcję wału napędzającego został przeniesiony do zespołu siłowników pneumatycznych. Wykazane zmiany konstrukcyjnie poprawiły spójność oraz jakość łączonych warstw co poświadcza zasadność wpływu modułu prasującego na te parametry.



Rys. 8. Błędy montażu wyrobów: a) zagniecenie warstwy nośnej, b) przesunięcie poprzeczne warstwy nośnej

Źródło: Kolekcja autora

PODSUMOWANIE

Zastosowanie opracowanej metodyki umożliwiło zaplanowanie i efektywne przeprowadzenie badań linii technologicznej do wytwarzania krótkich serii wyrobów z identyfikatorami RFID. Wykorzystując zbiór rang wyznaczono relacje pomiędzy elementami, podzespołami, układami, a także ich relacje w odniesieniu do awarii, usterek, braku funkcjonalności i niezbędnych badań. Opracowano struktury macierzowe wykorzystywane do automatyzacji generowania i optymalizacji scenariuszy („ścieżek krytycznych”) przy zastosowaniu różnych kryteriów, np. czasu realizacji i kosztów badań, największego prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia lub niezyskania zakładanej jakości. Odpowiednio zaplanowany przebieg badań urządzenia umożliwił skrócenie czasu wdrożenia rozwiązania do zastosowań praktycznych oraz zmniejszenie nakładów na ponoszonych jego uruchomienie. Błędy i usterki wykryte na etapie testowania umożliwiły wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w układach wykonawczych i systemie sterowania na wczesnym etapie integracji systemu technologicznego. Wykorzystanie metodyki przyczynia się do hierarchicznego usystematyzowania zespołów i modułów względem ich wpływu na działanie prototypu i kolejności badań.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

BIBLIOGRAFIA

1. Dobrodziej J., Mazurkiewicz A., Zbrowski, A.: Quality testing model for unit prototype technological devices. Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance, 46(1), 29-44. 2011
2. Mazurkiewicz A., Ruta R., Trzos M.: Badania prototypu, metodyka wspomagania procesu weryfikacji własności eksploatacyjnych, Biblioteka Problemów Eksploatacji, wyd. ITeE - PIB, Radom 2004.
3. Ruta R., Trzos M., Mazurkiewicz A.: Problematyka projektowania i weryfikacji własności eksploatacyjnych rozwiązań prototypowych. Problemy Eksploatacji nr 3/2003, s. 23-32.
4. Ruta R.: Model procesu weryfikacji własności eksploatacyjnych rozwiązania prototypowego. Problemy Eksploatacji nr 2/2004, s. 27-35.
5. Ruta R., Zbrowski A.: Koncepcja systemu wspomagania zarządzania procesem wytwórczym jednostkowych obiektów technicznych w zakładzie doświadczalnym instytutu badawczego. Problemy Eksploatacji. 3/2011 (82) s. 205-216
6. Samborski T., Zbrowski A.: Mechatronic System for the Production of Highly Secured Documents. Solid State Phenomena. Vol. 198, Mechatronic Systems and Materials IV (2013), pp.27 – 33
7. Samborski T., Koziół S., Zbrowski A.: Reconfigurable system for feeding the paper sheets in the technological processes. TTS Technika Transportu Szynowego 9/2012 str. 471-478.
8. Samek A., Uwarunkowania jakościowe w systemach projektowania i wytwarzania maszyn. Zarządzanie i Finanse, 2012, 10.3, cz. 2: 318-330.
9. Samek, A.: Jakość w projektowaniu konstrukcyjnym i technologicznym. Archives of Foundry Engineering 10.3 (2010).
10. Zbrowski A., Koziół S.: Badania prototypu systemu do kontroli bezpieczeństwa urządzeń ratownictwa wysokościowego. Problemy Eksploatacji, 2012, 1: 119-132.

TESTS FOR A PROTOTYPE TECHNOLOGICAL LINE FOR THE PRODUCTION OF MULTILAYER CARDS WITH RFID INLAYS

Abstract

The article presents the tests for a prototype technological line for the production of RFID inlays. The tests were carried out using the developed methodology of tests for prototype devices of a unit character. The authors discuss the issues connected with the methodology and present the basic foundations and problems of methodological nature that can occur at the time of studies on unit prototype devices. A case study of a test on a complex, modular device (25 functional modules) composed of over 13 000 individual elements is analysed. The authors show selected problems connected with the functioning and a proper operation of a technological series

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Zbrowski** – Instytut Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu

dr inż. **Tomasz Samborski** – Instytut Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu

mgr inż. **Szymon Zacharski** – Instytut Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu