

ZBROWSKI Andrzej, SAMBORSKI Tomasz, ZACHARSKI Szymon

PROCES ADAPTACJI MANUALNEGO GNIAZDA TECHNOLOGICZNEGO DO PRACY W CYKLU ZAUTOMATYZOWANYM

Streszczenie

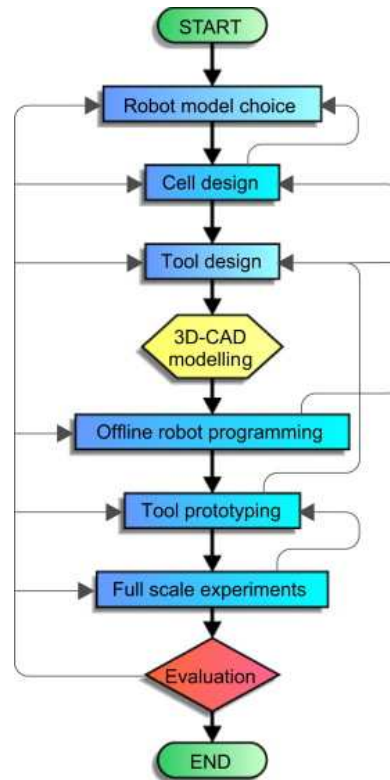
W artykule omówiono proces adaptacji i modernizacji stanowiska technologicznego mycia złożów łożyskowych obsługiwane ręcznie do poziomu zautomatyzowanego i zrobotyzowanego gniazda roboczego. Przeprowadzone prace dotyczyły stanowiska mycia złożów łożyskowych funkcjonującego jako element linii produkcyjnej wytwarzającej kompletne łożyska stożkowe czołowego polskiego producenta łożysk tocznych. Omówiono zagadnienia związane z rozbudową systemu sterowania oraz modyfikacjami warstwy sprzętowej. Przedstawiono algorytm sterowania pracą gniazda. Zaprezentowano rozwiązania elementów oprzyrządowania umożliwiające elastyczną współpracę robota z urządzeniem myjącym.

WSTĘP

Zrobotyzowane gniazda technologiczne stanowią coraz większą grupę automatycznych urządzeń wytwórczych pracujących w sposób autonomiczny, bez ingerencji człowieka. Budowa stanowiska, w którym procesy transportu i manipulacji obrabianym obiektem wykonuje robot przemysłowy najczęściej realizowana jest kompleksowo i współbieżnie w sposób zapewniający optymalną integrację urządzeń technologicznych i robota w jeden, elastyczny system wytwórczy. Już na etapie koncepcji zostają uwzględnione powiązania komunikacyjne systemów sterowania poszczególnych maszyn oraz zależności kinematyczne i geometryczne elementów ruchomych. Wzajemna konfiguracja przestrzenna zapewnia wymaganą przestrzeń roboczą dla ramienia manipulatora uzbrojonego w odpowiedni chwytak lub narzędzie. Ze względów ekonomicznych występują jednak przypadki, gdy procesowi robotyzacji należy poddać istniejące stanowisko robocze zaprojektowane pierwotnie do obsługi ręcznej przez operatora. Jest to sytuacja spotykana, gdy w warunkach ograniczeń budżetowych konieczne jest wykorzystanie dotychczas posiadanych zasobów sprzętowych spełniających wymagania obsługi manualnej. Integracja prowadzona w takich warunkach nie może wprowadzać zmian w strukturze linii produkcyjnej oraz zaburzać cyklu produkcyjnego. Proces robotyzacji w takich okolicznościach jest zagadaniem bardziej skomplikowanym ze względu na dopasowanie manipulatora do warunków zdefiniowanych percepcją i motoryką człowieka dotychczas obsługującego modernizowany proces. W artykule przedstawiono zrealizowany przez autorów proces adaptacji manualnego gniazda technologicznego do pracy w cyklu zautomatyzowanym z wykorzystaniem robota przemysłowego. Proces robotyzacji dotyczy stanowiska do mycia złożów łożyskowych w fabryce polskiego producenta łożysk tocznych.

1. PROCES POWSTAWANIA ZROBOTYZOWANEGO GNIAZDA TECHNOLOGICZNEGO

Projektowanie nowego zrobotyzowanego gniazda można przedstawić w postaci szeregu następujących po sobie czynności, które poprzez ewaluację prowadzą do powstania składnika realizującego założony proces technologiczny (Rys. 1).



Rys. 1. Proces powstawania zrobotyzowanego gniazda technologicznego [3]

Jest to proces iteracyjny, w którym każdy z elementów może mieć bezpośredni wpływ na pozostałe elementy składające się na końcowy efekt.

W przypadku realizacji zadania związanego z adaptacją manualnego gniazda technologicznego do pracy w cyklu zautomatyzowanym przed konstruktorem, w wielu przypadkach, staje szereg ograniczeń związanych z dostępną przestrzenią użytkową oraz koniecznością wykorzystania istniejącej infrastruktury dedykowanej do pracy manualnej. W Instytucie Technologii Eksploatacji – Państwowym Instytucie Badawczym w Radomiu w ramach prac nad systemami zwiększającymi bezpieczeństwo pracy w szkodliwych lub niebezpiecznych procesach technologicznych opracowano metodę automatyzacji manualnych gniazd technologicznych zweryfikowaną w obszarze obejmującym technologię mycia złożów łożyskowych [8]. Większość zrealizowanych prac, poprzedzonych wyborem typu robota, można przyporządkować do czterech grup obejmujących: projekt zrobotyzowanego gniazda, projekt oprzyrządowania technologicznego, oprogramowanie robota oraz przeprowadzenia badań modelowych i eksploatacyjnych.

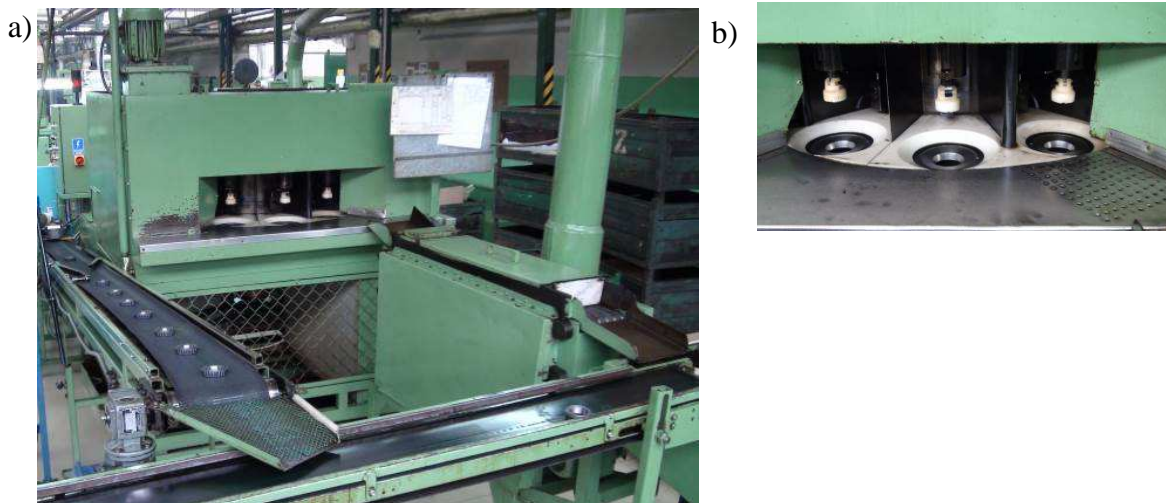
2. PROJEKT ZROBOTYZOWANEGO GNIAZDA

Przeznaczone do robotyzacji, obsługiwane ręcznie, gniazdo technologiczne mycia i konserwacji stanowi integralną część z linii produkcyjnej wytwarzającej złożenia łożyskowe (Rys. 2).



Rys. 2. Złożenie łożyskowe przeznaczone do mycia

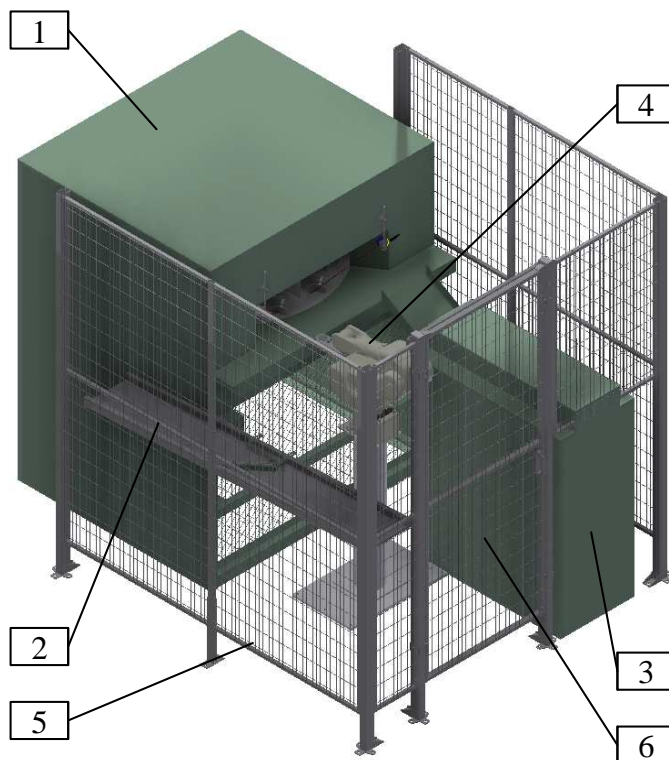
Zabieg mycia prowadzony w istniejącym urządzeniu AKA-46 realizowany jest poprzez wymuszony przepływ cieczy przez obracające się złożenie łożyskowe. Złożenia łożysk stożkowych przeznaczone do mycia wkładane są ręcznie przez osobę obsługującą do gniazd umieszczonych na poruszającym się ze stałą prędkością stole obrotowym. Przed przystąpieniem do mycia złożów łożysk stożkowych gniazda myjące urządzenia są wyposażane w odpowiedni typ wkładek dopasowanych do geometrii łożyska. Jeden komplet wyposażenia stanowi 12 sztuk wkładek. Po przejściu przez strefę mycia następuje automatyczne zamknięcie zaworu doprowadzającego ciecz myjącą, zakończenie obrotu łożyska oraz ociekanie nadmiaru oleju. Po myciu pracownik obsługujący urządzenie przekłada złożenia do urządzenia osuszającego, gdzie następuje usunięcie nadmiaru oleju.



Rys. 3. Stanowisko technologiczne mycia złożów łożyskowych: a) widok ogólny, b) widok gniazd myjących

Szeroko rozumiane projektowanie stanowisk zrobotyzowanych obejmuje dwa, współzależne obszary dotyczące projektu części mechanicznej stanowiska oraz systemu sterowania obejmującego przede wszystkim oprogramowanie robota.

Pierwszy etap projektu części mechanicznej obejmuje odwzorowanie istniejącej, koniecznej do adaptacji, infrastruktury w środowisku CAD (Rys. 4). Właściwie opracowany model bryłowy przyszłego środowiska pracy robota pozwala w fazie projektu na zweryfikowanie wszystkich zależności geometrycznych i kinematycznych w trakcie normalnej pracy i w sytuacjach związanych z wystąpieniem kolizji.



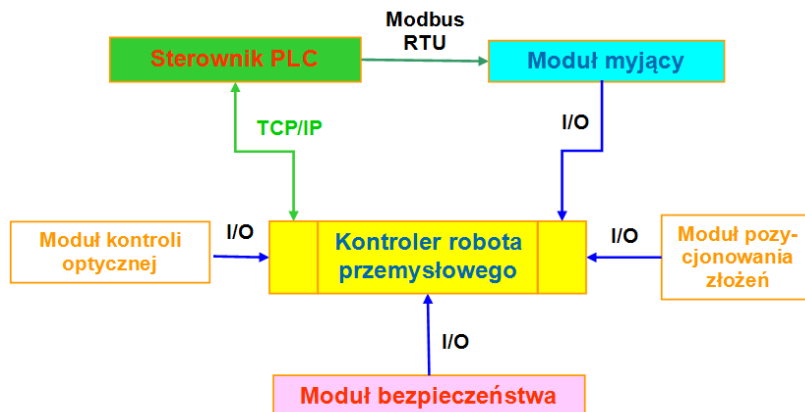
Rys. 4. Model bryłowy zrobotyzowanego gniazda technologicznego mycia złożeń łożyskowych: 1 – urządzenie myjące AKA-46, 2 – przenośnik taśmowy u modulem bazowania złożeń, 3 – urządzenie suszące, 4 – robot Kawasaki RS05L, 5 – bariera, 6 – drzwi z czujnikiem strefy bezpieczeństwa

Kolejny etap dotyczy działań adaptacyjnych, niezbędnych z punktu widzenia poprawności realizowanych funkcji, polegających na zaprojektowaniu trzech nowych modułów:

- pozycjonowania złożeń pobieranych przez robota,
- kontroli optycznej stanu załadowania gniazd urządzenia myjącego,
- bezpieczeństwa

oraz wprowadzeniu zmian w obszarze napędu urządzenia myjącego.

W zależności od stopnia złożoności operacji, realizowanych w ramach zrobotyzowanego stanowiska, kontrolę nad prawidłowym przebiegiem procesu technologicznego można powierzyć kontrolerowi robota przemysłowego lub, w uzasadnionych przypadkach, wspomóc zewnętrznym sterownikiem PLC.



Rys. 5. Struktura systemu sterowania zrobotyzowanym gniazdem technologicznym

W ramach realizowanego przedsięwzięcia podjęto decyzję o opracowaniu struktury oprogramowania uwzględniającą zastosowanie sterownika PLC (Rys. 5).

Struktura oprogramowania opracowana została z uwzględnieniem wszystkich uwarunkowań dotyczących wzajemnych relacji niezbędnych do realizacji założonych funkcjonalności w obszarze przyjętych rozwiązań sprzętowych.

Podstawowym elementem systemu sterowania jest kontroler wytypowanego robota przemysłowego komunikujący się ze sterownikiem PLC. Zaproponowany protokół komunikacji TCP/IP pozwala na:

- dobrą odtwarzalność po awarii,
- możliwość dodawania nowych sieci bez przerywania pracy istniejących,
- wysoki współczynnik korekcji błędów,
- niezależność od platformy,
- mały stopień obciążenia danych własnymi strukturami,
- dużą wydajność.

Kolejnym elementem jest moduł myjący, w skład którego wchodzi między innymi napęd asynchroniczny zasilany za pośrednictwem, wprowadzonego w procesie adaptacji, przekształtnika częstotliwości. Do łączności sterownika z przekształtnikiem, pozwalającym na pracę urządzenia w różnych trybach prędkości, wykorzystano protokół komunikacyjny Modbus będący standardem zaakceptowanym przez producentów urządzeń automatyki. Protokół określa zasady wymiany informacji pomiędzy dwoma lub wieloma urządzeniami zapewniając możliwie szybkie przesłanie danych przy jednoczesnej kontroli, czy nie zostały one przekłamane.

Informacje zwrotne z modułu myjącego o położeniu kątowym przekazywane są w formie pojedynczych impulsów, pochodzących z przetwornika obrotowego-impulsowego, bezpośrednio do kontrolera robota przemysłowego. Pozyskane informacje wykorzystywane są do synchronizacji ruchu oprzyrządowania robota z ruchem obrotowym gniazd, z których usuwane są (lub wkładane) poszczególne złożenia łożyskowe poddawane zabiegowi mycia.

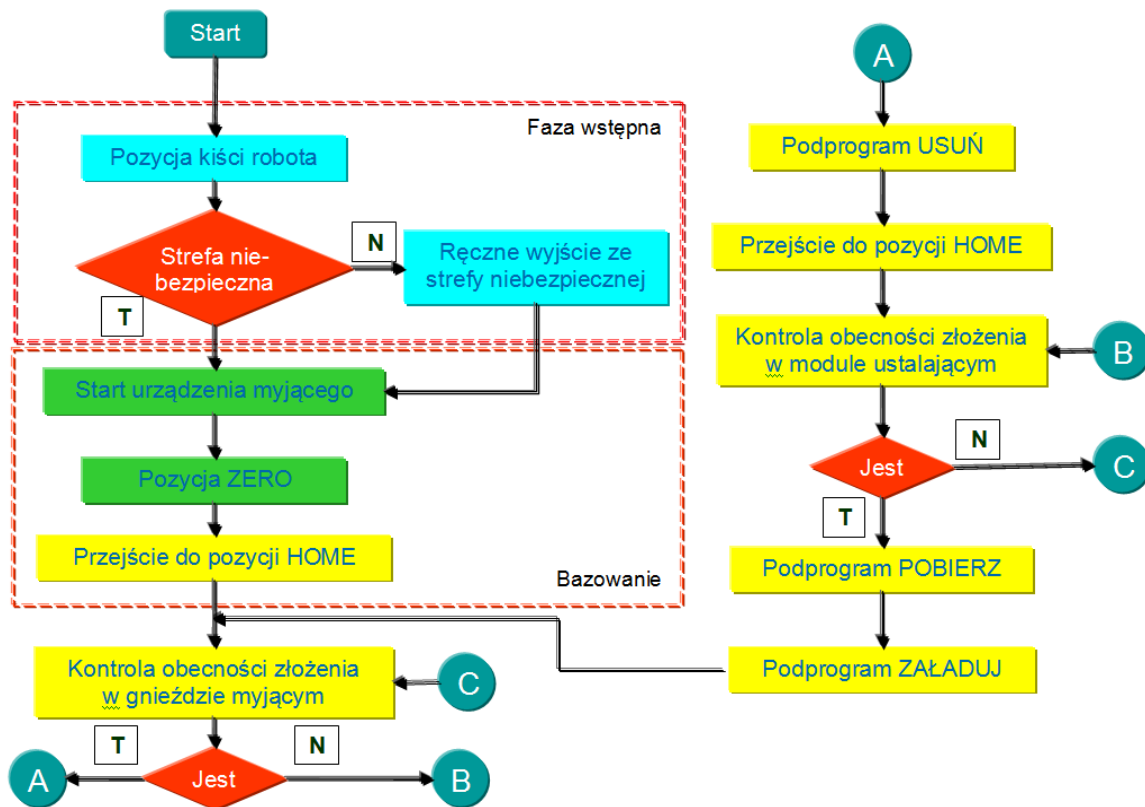
Dostarczanie złożeń łożyskowych do gniazda mycia odbywa się za pomocą transportera taśmowego wyposażonego w moduł pozycjonowania zapewniający osiągnięcie przez transportowany detal stałej, jednoznacznie określonej pozycji. Informacja z modułu pozycjonowania w postaci sygnału 0/1 o gotowości detalu do pobrania przekazywana również do kontrolera robota służy do zainicjowania odpowiedniej procedury związanej z pobraniem złożenia celem umieszczenia w gnieździe modułu myjącego. Kontrola obecności złożeń w gniazdach modułu myjącego realizowana jest z wykorzystaniem modułu kontroli optycznej. Sygnały binarne z modułu przekazane do modułu wejściowego I/O kontrolera decydują o:

- dostępności gniazda celem odłożenia złożenia łożyskowego,
- konieczności opróżnienia gniazda po operacji mycia.

Nieodzownym elementem zrobotyzowanego stanowiska jest moduł odpowiedzialny za bezpieczeństwo związane z użytkowaniem. Rolę tę pełni moduł bezpieczeństwa obejmujący bariery mechaniczne wyposażone w niezbędne czujniki. Informacja o naruszeniu strefy bezpieczeństwa może być przekazana bezpośrednio do kontrolera lub do sterownika PLC powodując wstrzymanie pracy wszystkich elementów zrobotyzowanego stanowiska.

Równoległe z opracowywaniem struktury oprogramowania prowadzono prace związane ze stworzeniem algorytmu pracy sterowania zrobotyzowanego stanowiska mycia złożeń łożyskowych. Wyodrębniono trzy fazy pracy obejmujące działania różnych elementów stanowiska mycia (Rys. 6):

- faza wstępna,
- faza bazowania,
- faza zasadnicza (technologiczna).



Rys. 6. Uproszczony algorytm sterowania pracą gniazda technologicznego mycia złożów łożyskowych.

Faza wstępna związana jest z określeniem przez użytkownika wzajemnej relacji pomiędzy poszczególnymi elementami stanowiska. W przypadku wykrycia potencjalnego zagrożenia związanego z możliwością wystąpienia kolizji pomiędzy np. robotem i urządzeniem myjącym zadaniem użytkownika jest przemieszczenie ramienia robota w określone, bezpieczne położenie.

Po potwierdzeniu faktu braku zagrożeń kolizji następuje przejście do drugiej fazy. W fazie tej realizowane jest bazowanie modułu myjącego polegające na uruchomieniu stołu obrotowego celem osiągnięcia położenia „zero” definiowanego przez marker znajdujący się na jego obwodzie. Proces ten przebiega w trybie zmniejszonej, w stosunku do nominalnej, prędkości obrotowej zapewniającej osiągnięcie przez stół jednoznacznie określonej pozycji. Faza bazowania obejmuje również automatyczne przejście robota do położenia określonego w procedurze HOME.

Start fazy zasadniczej rozpoczyna się od przejścia pracy modułu myjącego z fazy bazowania do fazy zasadniczej obejmującej zwiększenie prędkości obrotowej stołu z gniazdami myjącymi. Kolejnym etapem jest kontrola obecności złożenia mogącego pozostać w gnieździe myjącym po zatrzymaniu pracy stanowiska. W przypadku potwierdzenia jego obecności następuje uruchomienie podprogramu USUŃ, w trakcie którego robot pobiera złożenie z gniazda i przenosi do rynny podającej urządzenia suszące. Po zakończeniu programu USUŃ robot przemieszcza się do pozycji HOME gdzie oczekuje na decyzję co do możliwości pobrania detalu do umieszczeniu w gnieździe myjącym. Informacja z modułu podającego o poprawnie zorientowanym złożeniu jest sygnałem do uruchomienia sekwencji podprogramów POBIERZ i ZAŁADUJ. W następnym kroku następuje przejście do kontroli obecności złożenia w kolejnym gnieździe myjącym.

Ruch robota podczas realizacji podprogramów ZAŁADUJ i USUŃ zsynchronizowany jest z ruchem obrotowym stołu modułu myjącego zapewniając bezpieczne oddawanie/pobieranie złożeń łożyskowych podawanych operacji mycia. Sygnał do synchronizacji pobierany jest w formie impulsów z przetwornika obrotowo-impulsowego zamontowanego na wale stołu obrotowego.

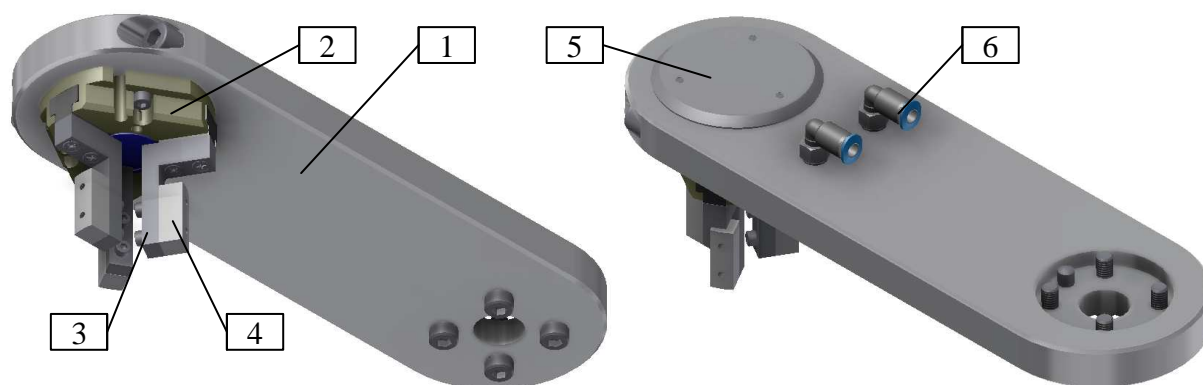
W ramach tego etapu zostały opracowane szczegółowe algorytmy sterowania realizowane w obszarze poszczególnych podprogramów wynikających z faz pracy. Na schemacie zawierającym uproszczony algorytm sterowania pracą gniazda technologicznego mycia złożeń łożyskowych (Rys. 6) zaznaczono kolorami operacje realizowane przez:

- kontroler robota - kolor żółty,
- sterownik PLC - kolor zielony,
- operatora - kolor niebieski.

Oprogramowanie sterownika PLC zawiera procedury sterowania pracą modułu myjącego oraz procedury komunikacji z kontrolerem robota. Podstawowym zadaniem sterownika jest załączanie/wyłączanie urządzenia myjącego, sterowanie prędkością obrotową urządzenia myjącego monitorowanie pracy falownika zasilającego napęd gniazd myjących, realizowanie procedury bazowania oraz monitorowanie strefy bezpieczeństwa.

3. PROJEKT OPRZYRZĄDOWANIA

Na podstawie analizy przestrzeni manipulacyjnej dostępnej wewnątrz urządzenia myjącego opracowano konstrukcję specjalnego chwytaka dopasowanego wymiarami do rozmiarów okien załadowniczych w urządzeniu myjącym (Rys. 7). Elementem umożliwiającym manipulowanie łożyskiem w przestrzeni roboczej urządzenia myjącego będzie adapter stanowiący połączenia pomiędzy chwytakiem a końcówką robota.



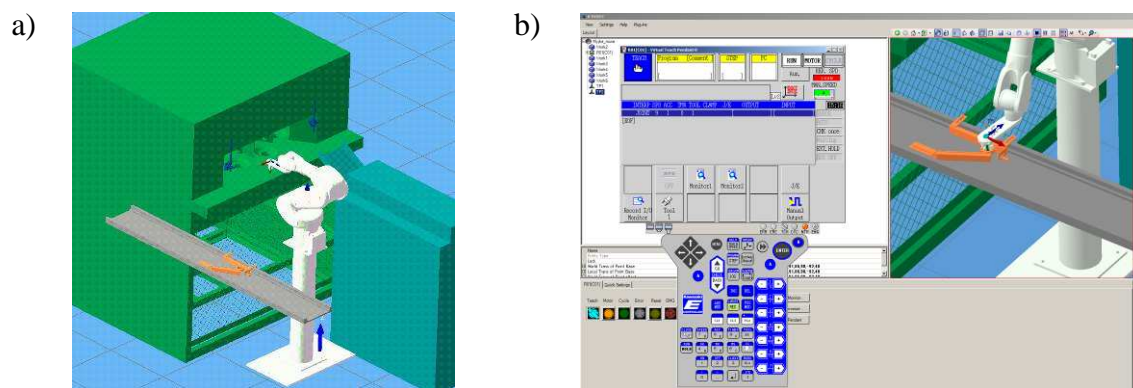
Rys. 7. Model chwytaka: 1 – korpus, 2 – chwytak pneumatyczny, 3 – szczeka, 4 – wymienna wkładka, 5 – tarcza blokująca, 6 – złącza pneumatyczne

W konstrukcji zastosowano pneumatyczny chwytak trójszczękowy firmy Schunk model JGZ40-1 sterowany dwustronnie pneumatycznie. W celu odsunięcia osi chwytaka od osi końcówki robota przemysłowego chwytak zamocowano do adaptera w kształcie płetwy. Opracowano konstrukcję szczęk z wymiennymi wkładkami umożliwiającymi chwytanie typoszeregu złożeń łożyskowych poddawanych operacji mycia.

4. OPROGRAMOWANIE ROBOTA

Metody tworzenia oprogramowania sterującego pracą robotów przemysłowych można podzielić na metody on- oraz off-line, czyli oprogramowanie możemy tworzyć na docelowym

stanowisku bądź na stanowisku wirtualnym [4,7]. Do prac nad oprogramowaniem wykorzystano dedykowane środowisko programistyczne Kawasaki K-Roset (Rys. 8). Praca na stanowisku wirtualnym umożliwia testowanie różnych wariantów pracy stanowiska oraz szybką ich modyfikację [1]. Dzięki zastosowanemu emulatorowi symulacja ruchu robota opiera się na rzeczywistych parametrach ramienia robota.

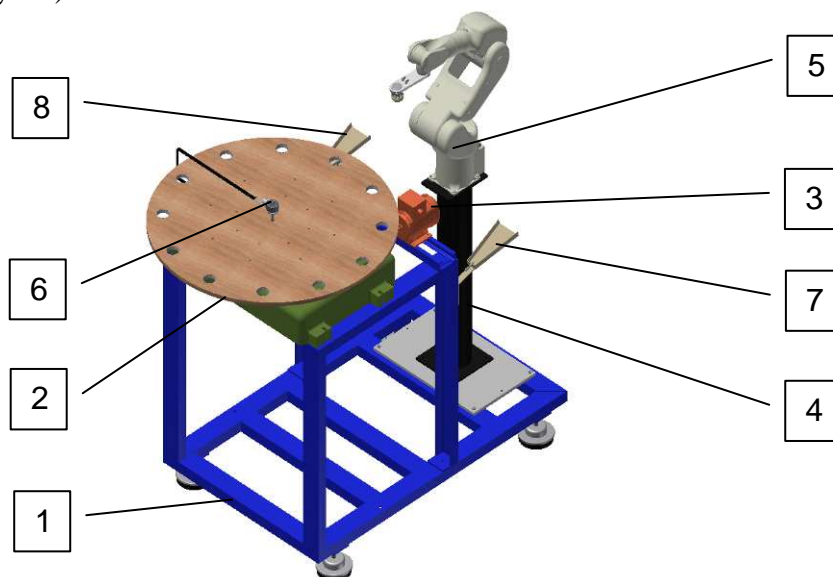


Rys. 8. Oprogramowanie K-Roset: a) model stanowiska; b) okno główne programu

Oprogramowanie pozwala na symulację trajektorii ruchu ramienia robota, wykrywa kolizję z obiektami oraz umożliwia pomiar czasu pojedynczego cyklu [6]. Czas ten dla wstępnie zamodelowanego stanowiska wyniósł 4.99s. Wykorzystanie dostępnego w programie K-Roset modułu optymalizacji stanowiska pozwoliło uzyskać na symulacji czas cyklu na poziomie 3,5 s zadowalający z punktu widzenia wydajności linii.

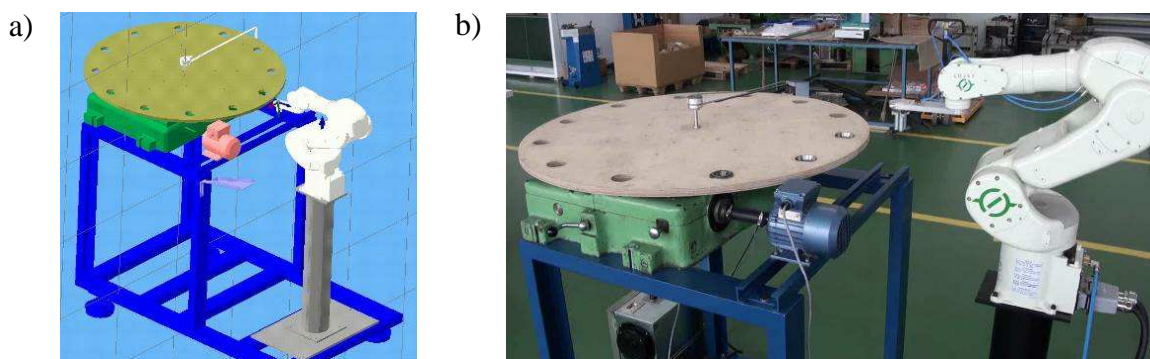
5. BADANIA MODELOWE I EKSPLOATACYJNE

W związku z koniecznością ograniczenia czasu przerw w pracy ciągu technologicznego związanych z pracami adaptacyjnymi korzystne jest prowadzenie badań modelowych w ramach ewaluacji przyjętego rozwiązania. W celu przeprowadzenia weryfikacji poprawności funkcjonowania opracowanego oprogramowania zaimplementowanego na kontrolerze robota zaprojektowano (Rys. 9) stanowisko modelowe w skali 1:1.



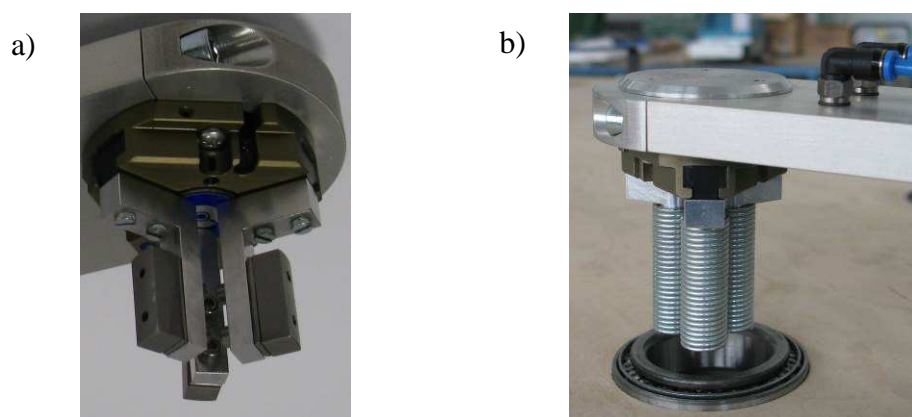
Rys. 9. Model 3D stanowiska testowego: 1 – rama, 2 – tarcza z gniazdami technologicznymi, 3 – napęd, 4 – podstawa robota, 5 – robot przemysłowy z oprzyrządowaniem, 6 – przetwornik obrotowo-impulsowy, 7 – moduł podający, 8 – rynna odbierająca.

Podczas projektowania stanowiska modelowego zachowano wszystkie zależności geometryczne wynikające z pomiarów przeprowadzonych na obiekcie, na którym prowadzone będą końcowe badania eksploatacyjne. Zaprojektowany model został zaimportowany do środowiska oprogramowania off-line robota przemysłowego (Rys. 10a), gdzie przeprowadzona została symulacja pracy oprogramowania realizującego funkcje w ramach poszczególnych podprogramów. Weryfikacja wirtualna obejmowała tylko, w związku z ograniczeniami oprogramowania symulacyjnego robota, pracę z modelem statycznym stanowiska. Pełna weryfikacja została przeprowadzona na stanowisku modelowym (Rys. 10b), które umożliwiło przeprowadzenie pełnych testów zwłaszcza w obszarze związanym z synchroniczną pracą stołu obrotowego i robota.



Rys. 10. Stanowisko modelowe: a) zaimportowane do środowiska oprogramowania robota przemysłowego, b) model rzeczywisty

W ramach prac związanych z weryfikacją oprogramowania zaprojektowano i wykonano (Rys. 11) dodatkowe oprzyrządowanie robota obejmujące wariantowe rozwiązanie końcówek uchwytu trójszczękowego przenoszącego złożenie łożyskowe.



Rys. 11. Widok oprzyrządowania robota - uchwyt trójszczękowy z końcówkami: a) sztywnymi, b) elastycznymi.

Zastosowanie końcówek podatnych, zweryfikowanych na etapie badań modelowych, pozwoli na kompensację błędów mogących wystąpić w warunkach badań eksploatacyjnych na etapie synchronicznej pracy robot - urządzenie myjące.

Kolejny etap prac adaptacyjnych obejmował przeprowadzenie badań eksploatacyjnych w warunkach produkcji wielkoseryjnej. Wstępne testy (Rys. 12) potwierdziły poprawność przyjętych założeń opracowanego rozwiązania zarówno pod względem poprawności realizowanych funkcji jak i wymaganej wydajności.



Rys. 12. Widok zrobotyzowanego gniazda technologicznego mycia złożeń łożyskowych.

Pozostałe do zrealizowania prace obejmują obszar związany z zapewnieniem niezbędnego poziomu bezpieczeństwa eksploatacji zmodernizowanego gniazda technologicznego mycia złożeń łożyskowych. Dotyczy to zarówno prac mechanicznych przy tworzeniu niezbędnych barier jak i tworzenia dokumentacji dotyczącej oceny ryzyka niezbędnej do dopuszczenia do eksploatacji maszyny, którą jest zrobotyzowane stanowisko.

WNIOSKI

Przedstawiony proces adaptacji manualnego gniazda technologicznego do pracy w cyklu zautomatyzowanym umożliwił zmodernizowanie stanowiska mycia złożeń łożyskowych w używanego w fabryce polskiego producenta łożysk tocznych. Realizacja opracowanego algorytmu sterowania wymaga wprowadzenia niezbędnych modyfikacji w warstwie sprzętowej i sterującej urządzenia myjącego, umożliwiającą niezawodną komunikację oraz spełnienie wymaganych warunków bezpieczeństwa. Badania modelowe oraz eksploatacyjne potwierdziły uzyskanie zakładanych parametrów prędkości i dokładności pozycjonowania. Opracowana konstrukcja chwytaka charakteryzuje się wymaganą elastycznością i dobrymi zdolnościami do kompensowania różnicy pozycji chwytaka i gniazda łożyskowego podczas podawania i odbierania łożysk z urządzenia myjącego. Takie rozwiązanie umożliwiło ciągłą pracę urządzenia bez konieczności zatrzymywania tarczy w procesie zakładania lub wyjmowania złożeń łożyskowych z gniazda maszyny.

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

BIBLIOGRAFIA

1. Ciszak O.: *Komputerowo wspomagane modelowanie i symulacja zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych*, Technologia i Automatyzacja Montażu 2/2011, str. 16 – 19
2. Dutkiewicz P., Wróblewski W.: *Modelowanie i sterowanie robotów*, PWN, Warszawa, 2003.
3. Hultman E., Leijon M., *Utilizing cable winding and industrial robots to facilitate the manufacturing of electric machines*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 2013, Volume 29 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2012.06.005>
4. Kaczmarek W.: *Elementy robotyki przemysłowej*, WAT, Warszawa, 2008

5. Tomaszewski K.: Roboty przemysłowe, WNT, Warszawa, 1993.
6. Programowanie w języku AS, ASTOR Sp. z o.o.
7. Zalewski A.: Nowa jakość w programowaniu robotów przemysłowych. Biuletyn Automatyki nr 3 (65). Kraków 2010, s. 10 – 11.
8. Zbrowski A., Samborski T., Zacharski S.: *Koncepcja robotyzacji gniazda technologicznego mycia złożów łożyskowych w procesie produkcyjnym*. TTS Technika Transportu Szynowego Nr 9/2012 str. 609 – 618

ADDAPTATION PROCESS FOR THE MANUAL TECHNOLOGICAL SLOT FOR THE APPLICATION IN AN AUTOMATED CYCLE

Abstract

The article describes the adaptation and modernisation of a manually operated technological stand and a robotic working slot. The works focused on the stand for the washing of bearing assemblies, functioning as part of a complex production line, on which complete roller bearings by the leading Polish manufacturer of roller bearings are manufactured. The authors discuss the issues related to the development of the control system and the modification of the hardware. The article presents an algorithm for the control over the slot, and hardware solutions enabling flexible cooperation of the robot with the washing device

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