

dr inż. Grzegorz WSZOŁEK, mgr inż. Paweł ZWOLIŃSKI
 Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów
 Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska

OPROGRAMOWANIE I WIZUALIZACJA PRACY STANOWISKA MPS W OPARCIU O SYSTEMY FIRMY B&R

Artykuł opisuje przykład praktycznego zastosowania rozproszonego systemu sterowania w Modułowym Systemie Produkcyjnym firmy FESTO, który znajduje się w Laboratorium Automatyki Mechatroniki i CIM na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej. Zawiera on najważniejsze informacje wiążące się z wdrożeniem i konfigurowaniem nowego typu rozwiązania opartego o sieć CAN. Poza tymi aspektami opisano wykonany interfejs HMI (człowiek – maszyna), który jest całkowitą nowością w systemie sterowania stanowiskiem MPS. Rozwiązanie tego typu daje możliwość interakcji z urządzeniem w czasie rzeczywistym z poziomu aktywnego wyświetlacza dotykowego. Okno wizualizacji udostępnione w interfejsie sygnalizuje wszystkie aktualne zdarzenia, jakie mają miejsce w modelu rzeczywistym, w formie obrazu klatkowego i komunikatów

PROGRAMING AND VISUALIZATION OF MODULAR PRODUCTION SYSTEM BASED ON B&R SYSTEMS

This article describes example of practical application of distributed control system in FESTO Modular Production System (MPS) which is in the Laboratory of Automatics, Mechatronics, Integrated Manufacturing Systems and Production Management Methods at the Faculty of Mechanical Engineering, Silesian University of Technology. It includes all important aspects common for replacing of control systems and configuring new solution based on CAN industrial net. Beside this information article describes newly created HMI visualization which is entirely new solution for the MPS. This solution gives real time possibility to interact with machine from active display panel. Visualization window shows all actions which take place in real model as a frame-view from each of it modules and communicates.

1. WPROWADZENIE

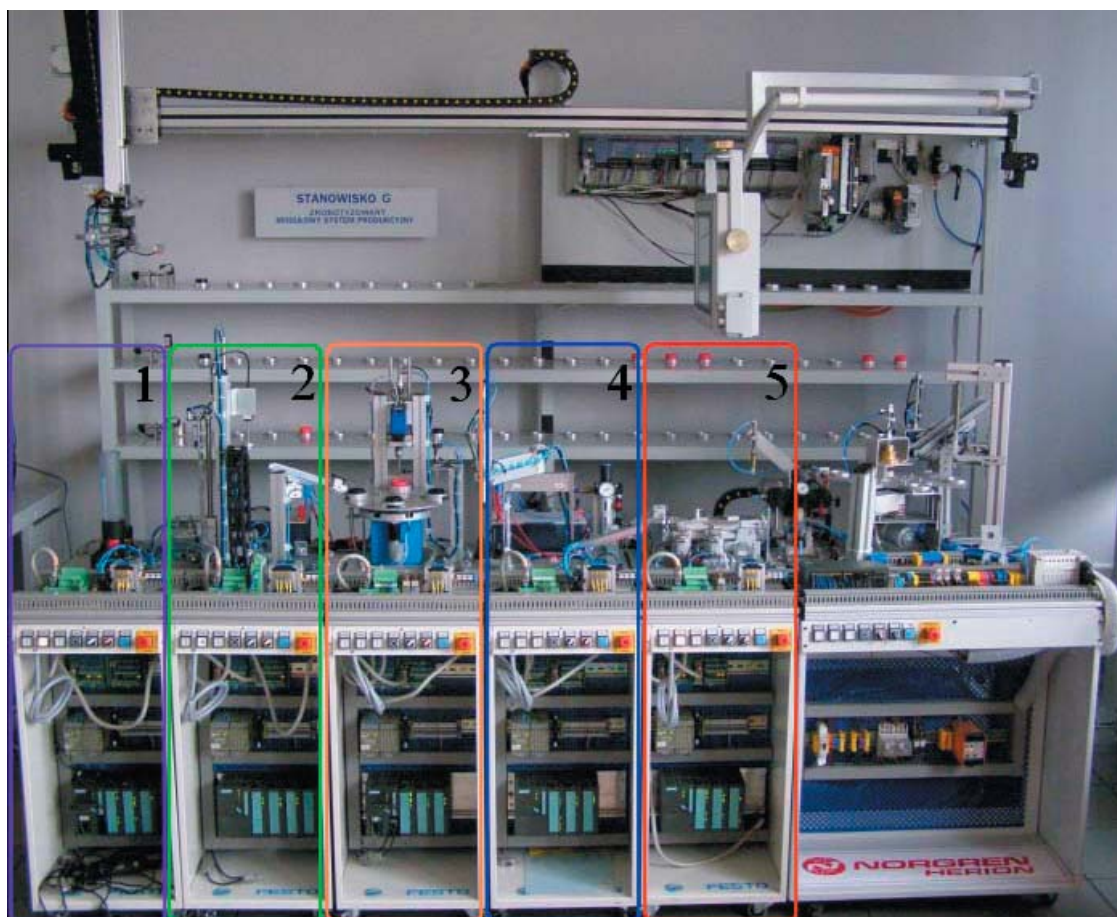
Na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach utworzono, w oparciu o sprzętową i częściowo programową ofertę firmy FESTO DIDACTIC, Laboratorium Automatyki, Mechatroniki i CIM [6,7], umożliwiające kształcenie inżynierów mechaników w obszarze metod automatyzacji procesów technologicznych z zastosowaniem układów pneumatycznych, elektropneumatycznych, sterowników logicznych PLC i regulatorów procesów ciągłych, wypełniając w ten sposób potrzeby w zakresie współczesnego kształcenia uniwersyteckiego. W Laboratorium prowadzone są zajęcia laboratoryjne i projektowe dla studentów czterech kierunków studiów: Automatyka i Robotyka, Edukacja Techniczno-Informatyczna, Mechanika i Budowa Maszyn oraz Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, z takich przedmiotów, jak podstawy automatyki i robotyki oraz regulacja automatyczna i układy pomiarowo-kontrolne w wytwarzaniu, a także zajęcia dla studentów wszystkich specjalności prowadzonych w Instytucie, a związanych tematycznie z automatyzacją procesów i układów.

W artykule przedstawiono przykład praktycznego zastosowania rozproszonego systemu sterowania w aplikacji typowo dydaktycznej, jaką jest modułowy system produkcyjny (MPS) firmy FESTO, będący na wyposażeniu Laboratorium Instytutu. Omówione zostały w nim najważniejsze aspekty projektu związanego ze zmianą systemu sterowania stanowiska MPS

oraz wprowadzeniem interfejsu HMI, którego zadaniem jest wymiana informacji pomiędzy maszyną a operatorem. Ponadto ogólnikowo omówiono programy realizujące pracę stanowiska MPS w pełnej interakcji z operatorem. Stanowisko znajduje się w Pracowni Automatykacji i Robotyzacji Procesów Technologicznych Instytutu Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

1.1. Modułowy system produkcyjny (MPS)

Stanowisko dydaktyczne MPS (rys. 1.1) firmy FESTO symuluje proces technologiczny obróbki korpusu siłownika w trzech różnych wariantach. Jego moduły mogą pracować jako zsynchronizowana linia produkcyjna lub jako pojedyncze jednostki wytwórcze. Ze względu na taki typ budowy stanowiska jego działanie zostanie przedstawione na poszczególnych modułach jako autonomicznych częściach.



Rys. 1.1. Stanowisko MPS widok ogólny (w tyle magazyn wysokiego składowania)

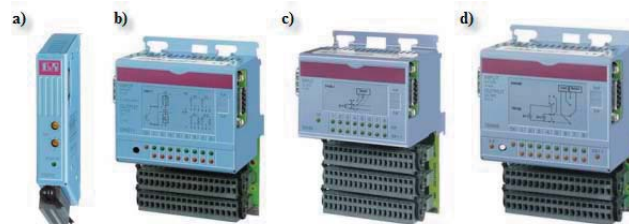
Moduł dystrybucji (1) stanowi pierwszą część stanowiska MPS. W jego skład wchodzi magazyn grawitacyjny wraz z elementem wypychającym i manipulator. W magazynie może znajdować się większa ilość elementów w dowolnej kolejności, które są kolejno wypychane i przenoszone na moduł kontroli (2) za pomocą manipulatora. Z kolei w skład tego modułu wchodzi cztery czujniki różnego typu, winda (podnośnik) z siłownikiem wypychającym, prowadnica górna (równia pochyła) z rygłem zatrzymującym półfabrykaty oraz prowadnica dolna. Podstawową funkcją tego modułu jest eliminacja z procesu produkcyjnego korpusów nie spełniających wymagań ze względu na posiadany kolor, materiał i wysokość. W dolnym

położeniu windy czujniki identyfikują półfabrykaty na podstawie koloru i materiału. Z modułu kontroli korpusy trafiają na moduł obróbki (3).

Składa się on z indeksowanego stołu obrotowego, stanowiska wiertarskiego (wiertarka i docisk pod wiertarką) oraz testera (głębokościomierz). Podstawową funkcją tego modułu jest obróbka korpusów (wiercenie otworu) i kontrola jakości otworu, po której korpus jest warunkowo przepuszczany dalej. Przedostatnim modułem stanowiska MPS jest moduł przenoszenia (4), na który składają się manipulator oraz magazyn na wybraki. Manipulator przenosi korpusy siłowników z modułu obróbki na moduł sortowania wg ich przeznaczenia – dobre na taśmę modułu sortowania, a wybraki do magazynu odpadów. Końcowy odcinek stanowiska MPS stanowi moduł sortowania (5), czyli: blokady grodzące, przenośnik taśmowy, dwie fotokomórki oraz trzy prowadnice magazynu. Na podstawie informacji o elemencie otrzymanych z poprzedniego modułu dokonywane jest umieszczenie elementów w odpowiedniej części magazynu.

1.2. System 2003 i urządzenie Power Panel firmy B&R jako podzespoły laboratoryjnej sieci CAN

Firma B&R [1] to austriacki producent z branży automatyki przemysłowej. Marka ta na rynku europejskim istnieje już 25 lat, ale w Polsce dopiero zdobywa pozycję na rynku. W roku ubiegłym firma doczekała się nagrody Scanautomatic 2007 System Prize [2] za jedno ze swych rozwiązań. System 2003, który zastosowano w nowym układzie sterowania stanowiska MPS, to seria najmniejszych sterowników PLC tej firmy przeznaczona do niewielkich zastosowań, głównie laboratoryjnych. Moduły tej serii do wzajemnej komunikacji wykorzystują magistralę CAN. Standardowy system składa się z szyny nośnej, jednostki centralnej oraz modułów wejścia/wyjścia. Architektura tego typu nie różniłaby się niczym szczególnym w stosunku do sterowników serii S7-300 Siemens'a zastosowanych przez FESTO w standardowym układzie sterowania stanowiska MPS.



Rys. 1.2. Moduły serii System 2003 wykorzystane w stanowisku: a) kontroler EX270, b) moduł mieszany CM211 c) moduł wejść binarnych DI439, d) moduł wejść/wyjść binarnych DM465

W przypadku rozwiązania zastosowanego w Laboratorium Automatyki, Mechatroniki i CIM na każdy moduł stanowiska MPS przewidziano zestaw złożony z szyny nośnej, modułów wejścia/wyjścia i kontrolera magistrali CAN (rys. 1.2) zamiast jednostki centralnej.



Rys. 1.3. Power Panel 4PP220.1505-B5

Jednostkę nadrzędną w tym przypadku stanowi zintegrowane urządzenie Power Panel 4PP220.1505-B5 (rys. 1.3), które połączone z modułami wejścia/wyjścia tworzy kompletny system sterowania i wizualizacji typu rozproszonego. Niepodważalne zalety tego rozwiązania to znaczna redukcja okablowania, wykorzystanie jednego sterownika zamiast pięciu oraz wyeliminowanie fizycznych pętli zwrotnych pomiędzy sterownikami Siemens'a dotychczas stosowanymi na stanowisku MPS.

2. MODYFIKACJA UKŁADU STEROWANIA STANOWISKA MPS

Modyfikacja układu sterowania stanowiska MPS była działaniem, którym kierowały jasno sprecyzowane cele. Podstawowym była konieczność integracji tego stanowiska z magazynem wysokiego składowania oraz uproszczenie sposobu jego sterowania poprzez przygotowanie intuicyjnego interfejsu HMI wyposażonego w podręczny system pomocy. Dodatkowym rezultatem modyfikacji układu sterowania stanowiska była znaczna redukcja okablowania, która w pewnym stopniu doprowadziła do uproszczenia budowy stanowiska MPS.

2.1. Wymiana sterowników Siemens S7-300 na moduły System 2003 firmy B&R

Po usunięciu „starych” sterowników skompletowano zestawy modułów B&R dla każdego z modułów stanowiska MPS. Wszystkie zestawy (rys. 2.1) składają się z trzech elementów w następującej kolejności (patrząc od lewej strony):

- kontroler magistrali CAN,
- binarny moduł mieszany DM465,
- moduł wejść binarnych DI439.



Rys.2.1. Zestaw modułów B&R

Natomiast w przypadku modułu kontroli kolejność wygląda inaczej:

- kontroler magistrali CAN,
- kombinowany moduł wejść/wyjść binarnych i analogowych CM211,
- binarny moduł mieszany (16 wejść i 16 wyjść) DM465.

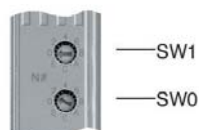
Producent w przypadku modułu CM211 zwraca uwagę na to, że zawsze powinien on znajdować się bezpośrednio po kontrolerze.

2.2. Konfiguracja programowo-sprzętowa

Po montażu nowego układu sterowania stanowiska MPS przyszła kolej na jego konfigurację i oprogramowanie. Do tego celu posłużono się aplikacją B&R Automation Studio, która jest kompatybilna ze wszystkimi oferowanymi przez producenta systemami sterowania. Umożliwia ona konfigurację układów sterowania wykorzystujących podzespoły marki B&R, pisanie programów oraz jednoczesne przygotowanie wizualizacji wykorzystywanych przez serię urządzeń Power Panel do komunikacji z operatorem. Aplikacja ta wyposażona jest w standardowe bloki funkcyjne, biblioteki dodatkowych funkcji, edytor oferujący kilka udogodnień jak np. kolorowanie słów kluczowych oraz kompilator sprawdzający błędy

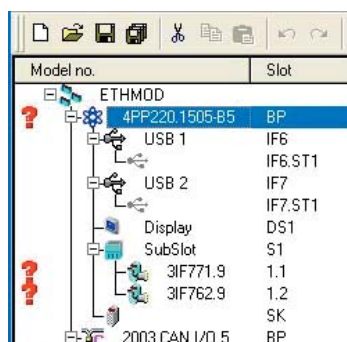
składni w skryptach. Producent postarał się o przygotowanie kompleksowego oprogramowania, które powinno dawać ogromne możliwości i nie zrażać do siebie użytkownika. Podczas realizacji projektu wspomniane cechy wydatnie poprawiły jakość i wygodę pracy oraz miały duży wpływ na skrócenie czasu realizacji projektu. Dodatkowo B&R Automation Studio wyposażono w rozbudowaną pomoc, w której zawarto najważniejsze informacje potrzebne do pracy z tym programem.

Podstawą poprawności działania urządzeń firmy B&R jest skonfigurowanie połączenia sterownik-komputer oraz sieci CAN. Komputer ze sterownikiem może się komunikować za pośrednictwem kabla RS232 lub sieci Ethernet.



Rys. 2.2. Pokręta służące do ustawiania numeru węzła [3]

Konfiguracja sieci CAN, w tym przypadku, polegała na ustawieniu numeru węzła na każdym kontrolerze magistrali CAN, który jest potem rozpoznawany przez sterownik oraz determinuje prędkość połączenia między nim, a kontrolerami. Ustawienia tego dokonano za pomocą dwóch szesnastopozycyjnych pokręteł (rys. 2.2), które dają możliwość uzyskania 256 ustawień. W omawianym przypadku zastosowano następujące ustawienia: **SW1** w pozycji „C” (prędkości transmisji 500 [kB/s]) i **SW0** w pozycjach od „5” do „9” (numeracja od modułu dystrybucji do sortowania). Numerację fizycznie ustawioną na kontrolerach za pomocą pokręteł **SW0** uzupełnia się następnie w aplikacji B&R Automation Studio, aby każdy z kontrolerów był rozpoznawalny przez programy sterujące.



Rys. 2.3. Przykład błędu na drzewie sprzętowym

Wszystkie czynności związane z konfiguracją systemu sterowania za pomocą aplikacji B&R Automation Studio nie powinny nastęrczać problemów nawet nowicjuszom. Nie można tego jednak powiedzieć w przypadku, gdy w układzie pojawi się problem sprzętowy. Jeśli obok modułu na drzewie sprzętowym (rys. 2.3) pokaże się znak ? to oznacza on problem z funkcjonowaniem tego modułu. W przypadku, gdy w tym samym miejscu wystąpi trójkąt ze znakiem ! w środku, to oznacza on że w miejscu zadeklarowania danego modułu znajduje się inny moduł. Dużą niedogodnością w tym przypadku jest brak możliwości określenia źródła błędu przez aplikację B&R Automation Studio i zmuszenie użytkownika do czasochłonnego szukania źródła błędu.

3. PROGRAMY STERUJĄCE

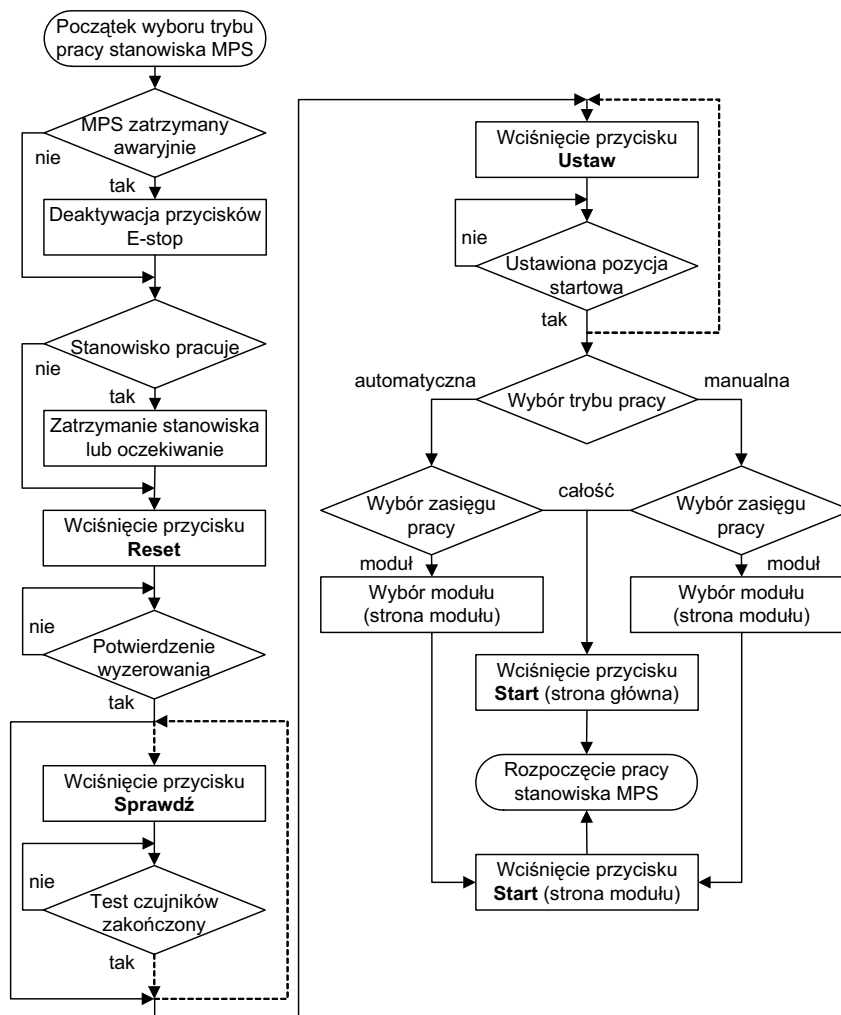
Celem oprogramowania stanowiska MPS wykorzystano obiekty cykliczne, których skrypty zostały zapisane w języku Automation Basic [4] (składnią zbliżony do Visual Basic). Całość projektu oparta została na obiektach cyklicznych, które podzielono na dwie zasadnicze grupy:

- 1) zapewniające cykliczną pracę poszczególnych modułów, ich ustawienie do pozycji startowej oraz kontrolę poprawnego działania czujników; niższy priorytet,
- 2) odpowiedzialne za komunikację z użytkownikiem poprzez wizualizację dostępną na panelu dotykowym oraz za ustawianie trybów w jakich pracuje stanowisko; wyższy priorytet.

Proces uruchomienia stanowiska MPS jest z góry określony za pomocą algorytmu (rys. 3.1), którego nie można ominąć. Podobnie jest ze wszystkimi możliwymi zachowaniami elementów składowych stanowiska w czasie jego pracy. Dla każdego działania przewidziano algorytmy, które są jednak w pewnym stopniu elastyczne ze względu na wprowadzenie wielu instrukcji warunkowych. Stanowisko wyposażone w nowy układ sterowania jest obecnie wykorzystywane w trakcie zajęć dydaktycznych i na bieżąco weryfikowane przez studentów.

3.1. Program zerujący zmienne

Jego podstawową cechą jest to, że jego działanie nie jest niczym ograniczone. Jego aktywacja jest możliwa w każdy momencie pracy stanowiska MPS. Po wykonaniu wszystkich instrukcji zawartych w skrypcie program ten wystawia potwierdzenie wykonania wyzerowania układu.



Rys. 3.1. Algorytm wyboru trybu pracy stanowiska MPS

3.2. Programy kontroli czujników

Kontrola poprawności działania czujników stanowiska jest bardzo istotna, ale nie wymagana na każdym kroku. Do jej realizacji wykorzystano pięć obiektów cyklicznych połączonych kaskadowo. Po zakończeniu ostatniego programu możliwe jest uruchomienie: programów ustawiających pozycję startową dla stanowiska lub programu zerującego zmienne.

3.3. Programy ustawiające pozycję startową

Ustawienie pozycji startowej przed wyborem trybu pracy stanowiska MPS jest koniecznością w przeciwieństwie do realizacji programów odpowiedzialnych za kontrolę czujników.

Bezpośrednio po ustawieniu pozycji startowej dla stanowiska możliwe jest dokonanie wyboru właściwego trybu jego pracy. W przypadku stanowiska MPS przygotowano możliwość pracy w czterech trybach wybieranych dwuetapowo. W pierwszym etapie określany jest sposób pracy (*automatyczny* lub *manualny*), a następnie zasięg jaki obejmuje (*moduł* lub *całość* stanowiska).

Dużą innowacją i udogodnieniem jest wprowadzenie możliwości uruchomienia stanowiska MPS za pomocą tylko jednego przycisku o nazwie *Całość*. Po jego wciśnięciu sterownik wykonuje wszystkie poprzednio omówione programy i uruchamia stanowisko w trybie automatycznej pracy wszystkich modułów jednocześnie. Możliwość tę przygotowano z myślą o szybkim uruchomieniu stanowiska w celach prezentacyjnych.

3.4. Program E-stop

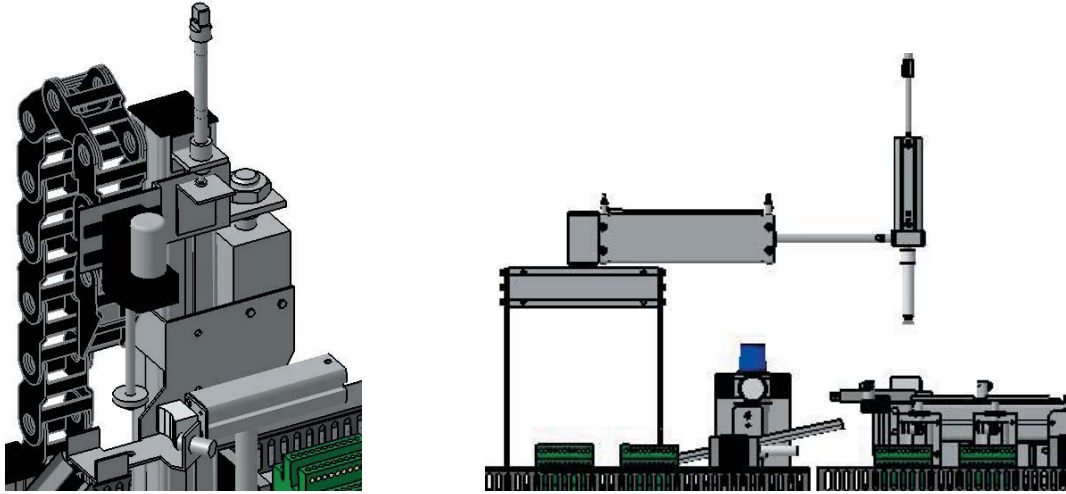
Jednym z ważniejszych programów sterujących dla stanowiska MPS jest program stopu awaryjnego. Jego aktywację wywołuje wciśnięcie jednego z przycisków bezpieczeństwa dostępnych na każdym z modułów stanowiska lub panelu dotykowym. Kolejno po sobie następuje zapisanie wartości zmiennych powiązanych z wyjściami na modułach B&R do przygotowanego rejestru a następnie ich zerowanie. Po odbezpieczeniu przycisków bezpieczeństwa uaktywniany jest tryb awaryjny, który daje możliwość odłożenia przeniesionego elementu i wykonania innych czynności na stanowisku MPS. Z chwilą odbezpieczenia przycisków bezpieczeństwa następuje odczyt zawartości rejestru oraz przypisanie do zmiennych zapamiętanych wartości. Nie powoduje to jednak uruchomienia układu (wymagane jest przeprowadzenie dodatkowej sekwencji).

3.5. Programy sterujące poszczególnymi modułami

Modułowa budowa stanowiska MPS była powodem, dla którego zrezygnowano z jednego obiektu cyklicznego determinującego pracę całego stanowiska. Zamiast niego utworzono pięć osobnych obiektów, które sterują poszczególnymi modułami. W przypadku modułów bezpośrednio z sobą sąsiadujących w obiektach tych uwzględniono potrzebę wzajemnej wymiany informacji. Programy sterujące pracą modułów stanowiska MPS przewidziane zostały zarówno do jednoczesnej pracy wszystkich modułów, jak i każdego z osobna. Programy tej podgrupy nie zostaną dokładnie opisane, ponieważ jest to temat bardzo obszerny ze względu na użycie wielu instrukcji warunkowych. Rzeczą godną odnotowania jest natomiast funkcja zatrzymania stanowiska. W tym przypadku nie nastąpi natychmiastowe zatrzymanie pracy stanowiska lub modułu, ale uruchomiony zostanie cykl wygaszania produkcji. Na każdym z modułów przebiega on inaczej, ale prowadzi do tego samego celu. Nowością, w stosunku do programu sterującego używanego przez dotychczasowe sterowniki, jest możliwość pracy „krok po kroku”. Tryb ten polega na przejściu do kolejnego kroku cyklu pracy stanowiska (lub modułu) po otrzymaniu zezwolenia od użytkownika.

4. WIZUALIZACJA

Przed rozpoczęciem prac związanych z wykonaniem wizualizacji dla stanowiska MPS znane były podstawowe założenia dotyczące sposobu jej działania oraz lista elementów potrzebnych do jej wykonania. Najważniejszym z nich był wirtualny model stanowiska (rys. 4.1). Finalną wersję modelu przygotowano w programie CATIA. Następnie wykonano serię ponad 350 obrazów, które potem wykorzystano w wizualizacji do symulacji ruchu, którą kierują dwa obiekty cykliczne. Pierwszy z nich ogranicza się do obrazów przedstawiających elementy wykonawcze we właściwych dla siebie stanach. Natomiast drugi odpowiedzialny jest za wyświetlanie obrazów produkowanych korpusów w miejscach ich obecności na stanowisku.

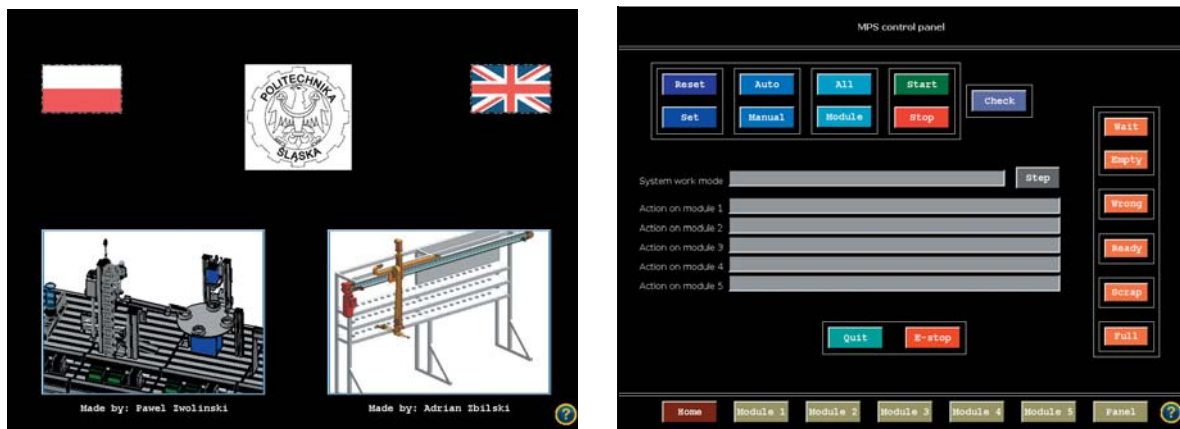


Rys. 4.1. Fragmenty modelu stanowiska

Podczas wykonywania wizualizacji wykorzystano możliwość bardzo dokładnego łączenia obrazów (piksel do piksela) jaką daje B&R Automation, przez co uzyskano efekt spójności obrazu. Oprogramowanie to umożliwiło ponadto przygotowanie interfejsu HMI (wraz z wizualizacją) o określonej strukturze [5].

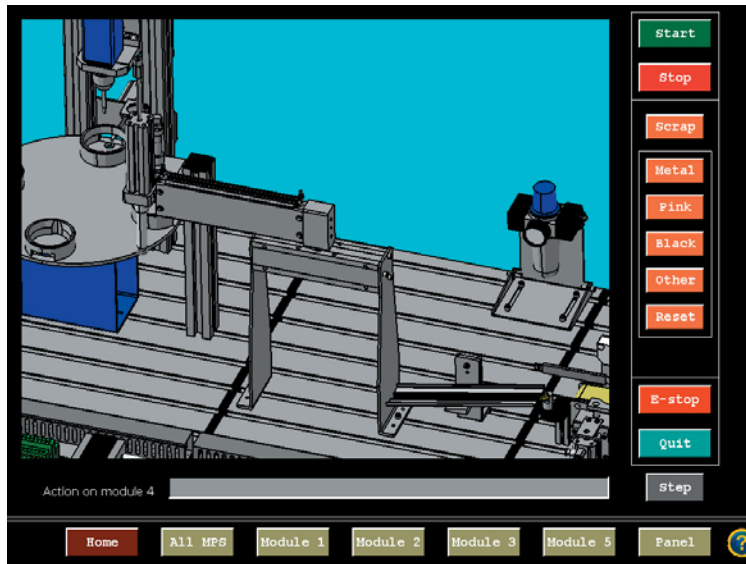
Bezpośrednio z założeń przyjętych przy realizacji projektu oraz posiadanych możliwości wynikała liczba stron, jaką umieszczono w wizualizacji:

- strona powitalna - wybór języka i urządzenia (rys. 4.2),
- strona główna wizualizacji (rys. 4.2) dla całego stanowiska MPS – kilka grup przycisków różnego przeznaczenia, aktywne pola tekstowe,



Rys. 4.2. Widok powitalnej(po lewej) i głównej strony wizualizacji

- pięć stron dla poszczególnych modułów stanowiska MPS (rys. 4.3) – kilka grup przycisków, aktywne pole tekstowe, pole z aktualnym obrazem danego modułu,



Rys. 4.3. Widok strony wizualizacji modułu przenoszenia

- strona umożliwiające ręczne sterowanie elementami wykonawczymi stanowiska MPS w trybie awaryjnym (aktywny i odbezpieczony przycisk bezpieczeństwa).

Informacje dotyczące powstałego interfejsu i jego obsługi zostały szczegółowo opisane w pracy [5].

5. PODSUMOWANIE

Kształcenie współczesnego inżyniera i magistra inżyniera automatyka i robotyka jest zadaniem, wymagającym silnego sprzężenia z realiami przemysłowymi. Rozwijający się intensywnie przemysł oczekuje na absolwentów gotowych w bardzo krótkim czasie włączyć się w rytm działania firmy, wykorzystując prawie natychmiast zdobytą wiedzę i umiejętności w obszarze trudnych, interdyscyplinarnych zagadnień mechatroniki.

Zaproponowane w artykule stanowisko MPS, jako kompleksowy i elastyczny w zakresie dalszej rozbudowy układ laboratoryjny poprzez sprzęgnięcie zagadnień programowych i sprzętowych umożliwił kształcącym się zdobywanie doświadczeń w zakresie projektowania i eksploatacji współczesnych układów sterowania, zarówno poprzez wirtualne tworzenie i badanie tych układów w środowisku specjalistycznych programów symulacyjnych, jak również poprzez działanie na rzeczywistych obiektach przemysłowych.

Stanowisko MPS, ze względu na budowę modułową, oferuje wiele możliwości dydaktycznych i badawczych, a dzięki zaprezentowanym rozwiązaniom możliwa jest jego łatwa rozbudowa. Wymiana 5 sterowników S7 300 firmy SIEMENS, obsługujących osobno każdy moduł stanowiska na zintegrowany z pozostałymi stanowiskami dydaktycznymi sterownik firmy B&R, dało możliwość wykorzystania sieci przemysłowej CAN i uzyskania między innymi dużej oszczędności okablowania. Uzyskano w ten sposób znaczne uproszczenie architektury układu sterowania, a odzyskane sterowniki S7 300 wykorzystano do budowy innych stanowisk dydaktycznych. Dodatkowo wprowadzenie firmowego oprogramowania kompatybilnego z wszystkimi produktami producenta ułatwiło proces programowania i wizualizacji, ograniczając konieczność stosowania dodatkowych aplikacji

typu SCADA. Dzięki wykorzystaniu urządzeń typu Power Panel można było w łatwy sposób przygotować interfejs HMI ułatwiający interakcję pomiędzy maszyną a operatorem.

W przyszłości stanowisko MPS będzie podlegać dalszym modyfikacjom polegającym na dołączeniu do obecnych pięciu modułów stanowiska montażu siłowników pneumatycznych jednostronnego działania, wykonaniu modelu wirtualnego oraz programu wizualizacyjnego dla dodatkowego modułu. Stanowisko traktowane jest przede wszystkim jako system dydaktyczny i jest wykorzystywane w trakcie zajęć laboratoryjnych dotyczących zagadnień związanych z szeroko pojętą automatyką przemysłową i mechatroniką.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.br-automation.com>
- [2] <http://katalog.xtech.pl/wiadomosci/>
- [3] <http://www.constel.com.pl/>
- [4] <http://www.air.ps.pl/download/dydaktyka/plc/>
- [5] Praca magisterska: Modyfikacja budowy stanowiska MPS, Politechnika Śląska. Gliwice. 2008
- [6] Świder J., Wszolek G.: Metodyczny zbiór zadań laboratoryjnych i projektowych ze sterowania procesami technologicznymi. Układy pneumatyczne i elektropneumatyczne ze sterowaniem logicznym (PLC). Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [7] Świder J. red. i in: Sterowanie i automatyzacja procesów technologicznych i układów mechatronicznych. Układy pneumatyczne i elektropneumatyczne ze sterowaniem logicznym (PLC). Podręcznik akademicki. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2002, ss.546.