

dr inż. Stanisław Krenich
mgr inż. Marcin Spyrka
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Politechnika Krakowska

MODELOWANIE I SYMULACJA ZROBOTYZOWANEGO GNIAZDA PRODUKCYJNEGO Z WYKORZYSTANIEM APLIKACJI ABB ROBOT STUDIO

Artykuł prezentuje zagadnienie tworzenia wirtualnego systemu produkcyjnego i jego symulację. Na podstawie istniejącego gniazda do tłoczenia blach stworzono jego komputerowy model oraz wykonano symulację z wykorzystaniem aplikacji ABB Robot Studio. Rzeczywisty proces produkcyjny został znacząco zautomatyzowany przez wprowadzenie robotów przemysłowych. Symulacja pracy gniazda pozwoliła na wykrycie i wyeliminowanie występujących kolizji elementów systemu oraz umożliwiła zadaniowe programowanie robotów. Przeprowadzone eksperymenty pozwalają stwierdzić, że wykorzystana aplikacja Robot Studio jest efektywnym narzędziem do projektowania i symulacji zautomatyzowanych systemów produkcyjnych, w których podstawową rolę pełnią roboty przemysłowe.

MODELLING AND SIMULATION OF THE AUTOMATED PRODUCTION CELL USING ROBOT STUDIO APPLICATION

The paper presents an approach to modeling of virtual production systems and their simulation. Based on the real working press forming cell a virtual model of this production system was built and simulated using ABB Robot Studio application. The existing production process was significantly automated by industrial robots which were introduced to the system. During the work simulation of the production system the task programming procedure of the robots and the collision faults detecting were applied. Thus the correction of the cell layout was available. The carried out experiments indicate as a conclusion that the Robot Studio application is an efficient tool for creating and simulating of automated production systems.

1. WPROWADZENIE

Większość procesów technologicznych jest przygotowywana obecnie za pomocą narzędzi informatycznych. Podejście to jest szczególnie przydatne w projektowaniu zintegrowanych wielomaszynowych systemów produkcyjnych. Wymagania, jakie są stawiane projektantowi dotyczą nie tylko samego procesu doboru elementów składowych realizujących określone zadania technologiczne, ale także ich optymalnego rozmieszczenia, koordynacji pracy i wykrycia ewentualnych kolizji oraz przygotowania oprogramowania dla sterowników maszyn i urządzeń technologicznych czy transportowych. Ponadto ważnym aspektem jest tu również szybkie i sprawne przeprowadzenie zmian w procesie technologicznym, jeżeli zajdzie taka potrzeba, co wiąże się nie tylko z koniecznością fizycznego przebrojenia linii produkcyjnej, ale także pociąga za sobą często konieczność zmiany programów sterujących pracą poszczególnych urządzeń, w tym również robotów przemysłowych. Narzędziami, które zasadniczo ułatwiają i wspomagają te procesy są aplikacje do tworzenia wirtualnych modeli systemów

wytwarzania oraz przeprowadzanie symulacji ich działania. Wiele firm oraz instytutów badawczych prowadzi prace nad tworzeniem i unowocześnianiem tego typu narzędzi, czego efektem są między innymi znane komercyjne aplikacje Cosim i r, Roboguide, Delmia V5 Automation czy RobotStudio.

1.1. Zrobotyzowany system produkcyjny

Organizacja przestrzenna stanowiska polega na konfiguracji geometrycznej wszystkich obiektów zrobotyzowanego systemu. W skład takiego systemu wchodzi m.in.: obrabiarki i inne urządzenia technologiczne, magazyny wejściowe i wyjściowe, bufory przystankowe, stanowiska reorientacji itp., które wpływają bezpośrednio na kształtowanie przepływu i ruchu przedmiotów wytwarzanych. Szczególną rolę w systemie wytwarzania pełni podsystem transportu i manipulacji integrujący fizycznie elementy systemu a często także pełniący rolę koordynatora pracy całego systemu. Robot przemysłowy jest jednym z elementów zrobotyzowanych systemów technologicznych, który można wykorzystać jako środek transportu lub też jako maszynę technologiczną. Poprawna współpraca robotów z innymi urządzeniami jest uwarunkowana programami sterującymi, które uwzględniają fizyczne i informacyjne powiązanie robota z tymi urządzeniami. Przy konieczności wprowadzania częstych zmian w systemie produkcyjnym standardowe podejście do programowania robotów wiązałoby się z długimi przestojami. Celowe, zatem wydaje się wspomaganie tego procesu poza rzeczywistym systemem wytwarzania. W wspomaganie programowania robota odbywa się wtedy na zasadzie planowania zadań robota i bezkolizyjnej trajektorii jego ruchów. Problem ten może być rozwiązany w wewnętrznej przestrzeni stanu robota, jak i w przestrzeni zewnętrznej, w której jest on zdefiniowany jako element do obsługi systemu technologicznego. Środowisko technologiczne robota ma konkretnie określoną organizacyjną strukturę wraz z określoną liczbą obiektów. Przejście robota między kolejnymi operacjami jest to zdarzenie, które jest wcześniej przewidziane i zaplanowane. W bardziej skomplikowanych procesach, w których zdolności manipulacyjne mają tak że maszyny, sekwencje ruchów robota muszą przewidzieć zmianę położenia danej maszyny.

2. APLIKACJA ROBOT_STUDIO 5.x.

RobotStudio to oprogramowanie umożliwiający zarówno zaprojektowanie stanowiska produkcyjnego poprzez odpowiednie rozmieszczenie jego elementów składowych jak również programowanie oraz przeprowadzanie symulacji pracy robotów jako elementów składowych tego stanowiska w trybie „off-line”. Programowanie w trybie „off-line” jest możliwe dzięki zastosowaniu technologii wirtualnego robota VirtualRobot™ firmy ABB, która umożliwia całkowite odzwierciedlenie rzeczywistego kontrolera robota w środowisku programowym. Możliwości pakietu Robot Studio to między innymi:

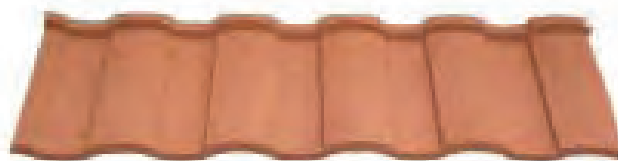
- Modelowanie systemów wytwarzania realizujących różnorodne procesy technologiczne. Aplikacja ma możliwość zaprojektowania stanowiska produkcyjnego poprzez odpowiednie rozmieszczenie jego elementów składowych. Elementy składowe można przemieszczać w dowolnie ściśle określone w założonym układzie współrzędnych miejsce jak również śledzić ich położenie przy pomocy funkcji „Set Local Origin”. Rozmieszczone elementy można wprowadzać w ruch przez tworzenie wirtualnych ścieżek zadając punkty w przestrzeni, wykorzystując tzw. wirtualny joystick – „Virtual FlexPendant” lub za pomocą języka Rapid.

- Możliwość programowania wykorzystanych elementów składowych systemu wytwarzania. Można generować automatycznie programy sterujące robotami oraz ingerować w te programy w razie potrzeby.
- Możliwość symulacji pracy systemu.
Dzięki tej opcji można sprawdzić działanie całego systemu wytwarzania i poprzez korekcie zoptymalizować jego pracę.
- Tworzenie zdublowanych ruchów – Funkcja „MultiMove”.
Opcja ta umożliwia narzucanie współpracy dwóch robotów przy obsłudze jednego przedmiotu.
- Wykrywania kolizji i alarmowanie użytkownika o stanie przed alarmowym.
RobotStudio umożliwia nam ustawienie dwóch stanów alarmowania o zagrożeniu: stan tuż przed kolizją i stan kolizji. Dla tych stanów możemy dla potrzeb wizualizacji ustawić odpowiednią kolorystykę.
- Informowanie o alarmach za pomocą Internetu.
Oprogramowanie ma moduł umożliwiający wysyłanie alarmów lub ostrzeżeń o stanie maszyn. Poprzez odpowiednie zdeklarowanie stanów alarmowych w fazie tworzenia projektu można mieć bieżący podgląd na pracę całego systemu wytwarzania w tym na przykład można uzyskać informacje na temat ewentualnych kolizji, braku zasilania poszczególnych elementów, informacje o prędkościach obrotowych części ruchomych, informacje o położeniu ramion robota lub też o pojawiających się przeszkodach na drodze manipulatorów. Na podstawie powyższych danych w niektórych przypadkach można w sposób zdalny usuwać usterki lub błędy w działaniu.
- Możliwość importowania plików CAD.
RobotStudio nie ma rozbudowanych narzędzi, które umożliwiłyby tworzenie rozbudowanych elementów zagospodarowania hali produkcyjnej. W celu wzbogacenia wyposażenia hali możemy skorzystać i importować elementy z innych aplikacji, przykładowo z programu AUTOCAD, CATIA, Solid Works.
- Możliwość odczytu sygnałów stanu wejść i wyjść I/O.
Na tej podstawie użytkownik jest w stanie określić zależności między poszczególnymi elementami systemu.

3. MODELOWANIE I SYMULACJA GNIAZDA PRODUKCYJNEGO DO TŁOCZENIA BLACH DACHÓWKOWYCH.

Analizie zostanie poddany projekt zrobotyzowanego gniazda do tłoczenia blach dachówkowych MetroRoman o wymiarach 1330×410 [mm] zrealizowany na bazie istniejącego stanowiska, na którym wszystkie czynności manipulacyjno-transportowe były realizowane ręcznie. Wprowadzenie robotów do czynności technologicznych oraz manipulacyjnych umożliwiło zautomatyzowanie pracy istniejącego stanowiska. Wymagane operacje technologiczne to:

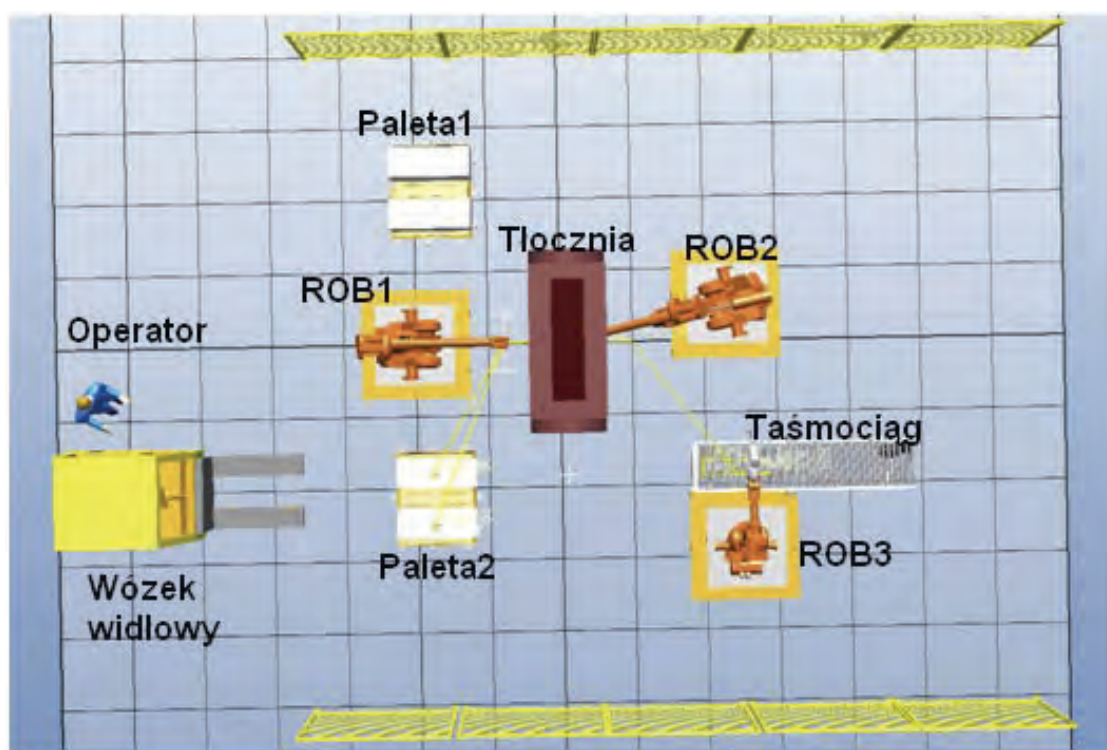
- cięcie na gilotynie blachy z rozwijanych wałów,
- dostarczanie pociętych arkuszy na stanowisko do tłoczenia,
- tłoczenie profilu dachówkowego,
- odebranie wytłoczonego elementu,
- malowanie wytłoczonego elementu,
- wygrzewanie pomalowanych elementów w piecu nawiewowym,
- ostemplowanie wykonanych profili dachówkowych i przekazanie ich do magazynu.



Rys. 1. Wyłoczony profil/panel blachy MetroRoman

3.1. Założenia konstrukcyjne do modelu wirtualnego

Na podstawie analizy kolejnych wymaganych operacji technologicznych zaproponowano rozkład elementów składowych gniazda produkcyjnego jak na rys. 2. Część wymaganych operacji technologicznych tj. cięcie blachy na arkusze oraz wygrzewanie pomalowanych elementów wyłączono z projektowanego gniazda gdyż wykonywane są one na stanowiskach znajdujących się w innych pomieszczeniach zakładu produkcyjnego.



Rys. 2. Schemat projektowanego zrobotyzowanego gniazda do tłocznie blach

Zaproponowano następujące operacje technologiczne i manipulacyjno-transportowe przypisane poszczególnym elementom składowym gniazda:

- wózek widłowy:
 - operacja01 – dostarczanie palet z pociętymi arkuszami blachy na stanowisko
 - operacja02 – wywóz pustych palet do magazynu w celu uzupełnienia blachy
- robot pierwszy – ROB1:
 - operacja01 – pobieranie arkusza blachy gładkiej z palet
 - operacja02 – transport arkusza na prasę tłoczącą
 - operacja03 – wysterowanie sygnału do powodującego zamknięcie się mechanizmu tłoczni

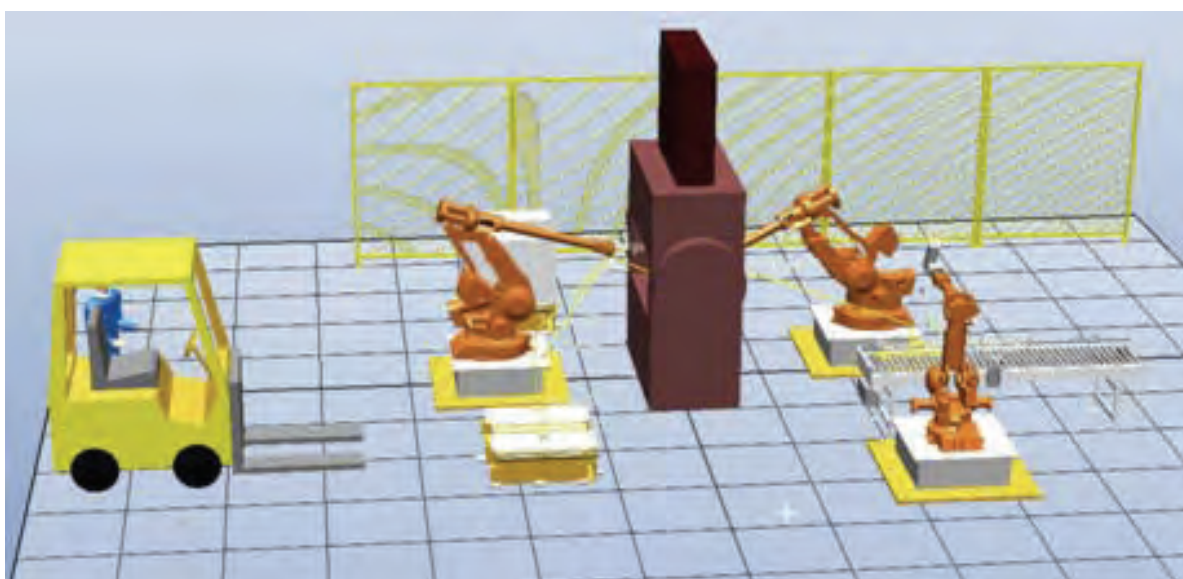
- robot drugi – ROB2:
operacja01 – pobieranie wytłoczonych profili z prasy tłoczącej
operacja02 – odkładanie profilu blachy na taśmociąg
operacja03 – wysterowanie sygnału uruchamiającego pracę trzeciego robota
- robot trzeci – ROB3:
operacja01 – rozpoczęcie malowania wytłoczonego profilu
operacja02 – wysterowanie sygnału taktującego ruch taśmociągu.

3.2. Tworzenie modelu wirtualnego

Wirtualny model gniazda produkcyjnego tworzymy korzystając z istniejących w aplikacji Robot Studio bibliotek robotów lub innych urządzeń jak np. taśmociąg oraz projektując i wprowadzając własne elementy składowe, przy czym projektowanie odbywa się w innych aplikacjach typu CAD ze względu na ograniczone możliwości programu Robot Studio w tym zakresie. Kolejne etapy tworzenia wirtualnego modelu gniazda do tłoczenia blachy dachówkowej:

- zdefiniowanie stanowiska jako bazy do umieszczania elementów składowych, przy czym można wykorzystać istniejący model systemu produkcyjnego lub wybrać opcję pustej stacji, którą można konfigurować od podstaw, co zrealizowano;
- wprowadzenie do wirtualnego środowiska projektowanego systemu robotów z bibliotek robotów firmy ABB. Wybrano dwa średnich gabarytów roboty IRB 4400L o udźwigu 10 kg i zasięgu 2,55 m, oraz jeden robot o mniejszych gabarytach IRB 2400 o nośności 10 kg i zasięgu 1,5 m;
- uzbrojenie robotów w narzędzia, przy czym chwytaki przyssawkowe zostały zaprojektowane w zewnętrznej aplikacji i wprowadzone do systemu;
- wprowadzenie z bibliotek aplikacji urządzenia transportującego (taśmociąg), palet, wózka widłowego i innych elementów koniecznych do ustawiania elementów systemu;
- wprowadzenie modelu prasy tłoczącej zrealizowanego w zewnętrznej aplikacji (Catia).

W wyniku wprowadzania i rozmieszczania elementów składowych, których położenie można ściśle zdefiniować w przyjętym układzie współrzędnych, otrzymano przestrzenny model gniazda produkcyjnego, który został przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Zaprojektowane stanowisko do tłoczenia blachy

3.3. Symulacja pracy gniazda produkcyjnego

Po wprowadzeniu i przeanalizowaniu rozmieszczenia poszczególnych elementów na stanowisku przeprowadzono symulację pracy gniazda. Symulację pracy poprzedza wprowadzenie w tryb ruchu elementów składowych systemu oraz ich wzajemne skorelowanie, co zrealizowano m.in. następująco:

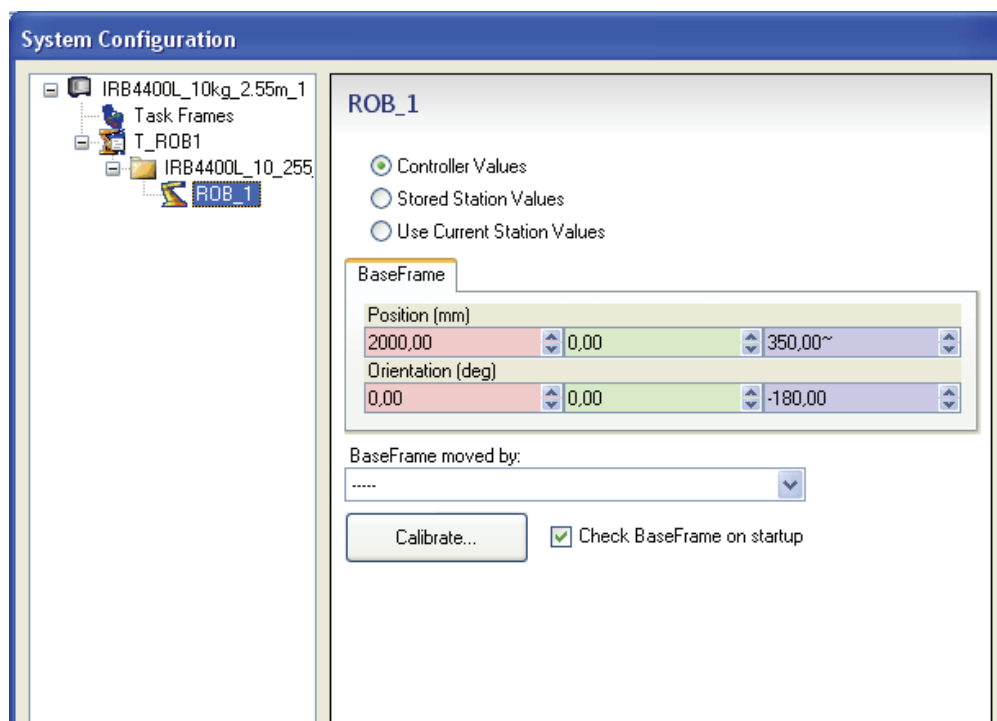
- przez wykorzystanie opcji *Create Mechanism*, która umożliwia zdefiniowanie części podlegających ruchowi i nieruchomych, zakresów ruchu oraz sygnałów wyzwających ruch i potwierdzających wykonanie ruchu. W ten sposób wprowadzono w tryb ruchu prasę tłoczącą oraz taśmociąg;
- przez wykorzystanie opcji *Teach Target* w celu programowania zadaniowego robotów, co w praktyce realizowane było jako zadawanie punktów w przestrzeni robotów, przez które przemieszczana jest końcówka robota wraz z narzędziem lub przedmiotem. Na podstawie zadanych punktów utworzono ścieżki ruchu (*Path*) a następnie przeprowadzono synchronizację każdego z trzech występujących w systemie robotów z wirtualnymi kontrolerami;
- przez wykorzystanie opcji *Events*, która umożliwiła ustawienie zależności i powiązań ruchowych jak i sygnałowych pomiędzy poszczególnymi elementami systemu. Istnieje również możliwość ustawienia trybu znikania elementów systemu podczas symulacji pracy. W analizowanym systemie definiowanie powiązań między obiektami odbywało się na zasadzie ustawiania odpowiednich sygnałów wywodzących się z poszczególnych robotów przez opcję *Offline* i *Communication*.

Po zrealizowaniu powyższych zadań przeprowadzono symulację pracy całego gniazda produkcyjnego. W wyniku procesu symulacji stwierdzono nieprawidłowe zdefiniowanie położenia robota ROB1 oraz błędy w zadanych punktach na trajektorii ruchu robota ROB2, co prowadziło do występowania kolizji chwytaków obydwu robotów z prasą tłoczącą. W związku z tym wprowadzono korekcje w ustawieniu robota oraz wprowadzono dodatkowe punkty do ścieżki ruchu robotów (rys. 4 i 5). Korekcje te pozwoliły na przeprowadzenie poprawnej symulacji działania całego systemu, nie wykryto żadnych błędów kolizji. W efekcie końcowym wygenerowano automatycznie programy sterujące robotami, które można wprowadzić do rzeczywistych sterowników robotów występujących w systemie. Do generowania programu

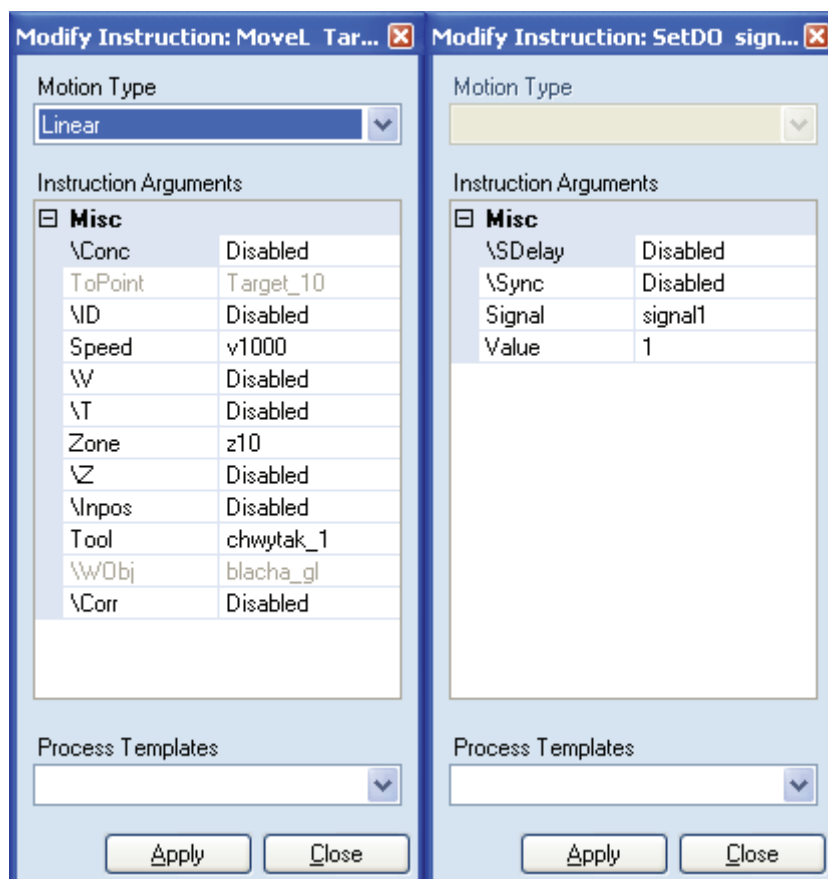
i określania punktów może posłużyć także moduł „Virtual Flex Pentand”. Dzięki niemu można definiować poszczególne punkty, a także mieć pełny dostęp do języka programowania robotów. Fragment wygenerowanego programu dla robota ROB1 przedstawia listing:

```
MODULE Module1
PROC Path_10()
  MoveL Target_10,v1000,z10,chwytak_1\WObj:=blacha_g1;
  MoveL Target_50,v1000,z10,chwytak_1\WObj:=blacha_g1;
  MoveL Target_20,v1000,fine,chwytak_1\WObj:=blacha_g1;
  SetDO signal1,1;
  MoveL Target_50,v1000,z10,chwytak_1\WObj:=blacha_g1;
  MoveL Target_10,v1000,z10,chwytak_1\WObj:=blacha_g1;
  MoveL Target_60,v1000,fine,chwytak_1\WObj:=blacha_g1;

  ...
  MoveL Target_10,v1000,fine,chwytak_1\WObj:=blacha_g1;
  SetDO signal2,1;
  MoveL Target_10,v1000,fine,chwytak_1\WObj:=blacha_g1;
  SetDO signal2,0;
ENDPROC
PROC main()
  Path_10;
ENDPROC
ENDMODULE
```



Rys. 4. Lokalizacja pierwszego robota IRB 4400L



Rys. 5. Modyfikacji ustawień ruchów robota

4. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Aplikacja Robot Studio 5.x jest wystarczającym narzędziem do projektowania systemów technologicznych, co przedstawiono w opracowaniu. Zaprojektowany model wirtualny gniazda produkcyjnego w pełni odzwierciedla istniejące elementy, jakie znajdują się w rzeczywistej fabryce oraz umożliwia wprowadzenie dodatkowych w tym robotów. Rozmieszczenie elementów na stanowisku jest bardzo elastyczne i w zasadzie poprawki dotyczące przestawienia urządzenia nie stanowią problemu. Po każdej zmianie można przeprowadzić symulacje i w ten sposób na bieżąco korygować pracę systemu wytwarzania. W programie RobotStudio projektant może importować gotowe obiekty i zachować ich rzeczywiste wymiary w odpowiedniej skali, co ułatwia odwzorowanie rzeczywistego systemu. Przeprowadzone symulacje umożliwiły wprowadzenie korekcji na etapie projektowania oraz umożliwiły wygenerowanie gotowych programów sterujących robotami. Wykorzystanie aplikacji do modelowania i symulacji gniazda do tłoczenia blach dachówkowych spowodowało skrócenie czasu tworzenia

i testowania systemu produkcyjnego, a tak że prowadziło do obniżenia kosztów związanych z nieprawidłowym rozmieszczeniem elementów systemu, co skutkowało między innymi obniżeniem wydajności pracy. Podsumowując zastosowanie pakietu RobotStudio pozwala na uzyskanie:

- redukcji ryzyka popełnienia błędów w projektowaniu poprzez wizualizację,
- potwierdzenie przyjętej koncepcji działania systemu produkcyjnego,
- optymalizacji programów robotów w celu zwiększenia produktywności,
- wprowadzenia do systemu nowych komponentów bez dłuższych przerw.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Zdanowicz R.: *Robotyzacja procesów technologicznych*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2007.
2. Katalogi i materiały firmowe ABB 2007- 2010.
3. www.abb.com
4. www.virtual-environments.com