

mgr inż. Justyna Tolstoj-Sienkiewicz  
mgr inż. Tomasz Sienkiewicz  
mgr inż. Roman Trochimczuk  
mgr inż. Adam Gawenda  
prof. dr hab. Marek Gawrysiak  
Politechnika Białostocka

## TECHNICZNE I POZATECHNICZNE ASPEKTY ROBOTYZACJI W DUŻYCH ZAKŁADACH PRZETWÓRSTWA TWORZYW SZTUCZNYCH

*Przedstawiono stan, problemy i propozycje robotyzacji w dużych zakładach przetwórstwa tworzyw sztucznych. Wykazano, że problemy robotyzacji mają charakter branżowy i lokalny.*

### TECHNOLOGICAL AND METATECHNOLOGICAL ASPECTS OF ROBOTS APPLICATION IN LARGE PLASTICS PROCESSING MANUFACTURERS.

*The state, the problems and the suggestions of robots application in large plastics processing manufacturers are presented. It is concluded that this problems are branch and region depending.*

#### 1. WPROWADZENIE

Już od kilku lat Katedra Mechatroniki Politechniki Białostockiej prowadzi ze studentami zajęcia z przedmiotu robotyzacja. Podczas tych zajęć zapoznujemy ich z najnowszymi osiągnięciami i rozwiązaniami mającymi miejsce na tym polu. Prezentujemy ciekawe rozwiązania dotyczące procesów zarówno przemysłowych jak i usługowych. Jak można się domyślać, znacząca większość to przykłady zachodnie. Staramy się jednak robotyzację przedstawić nie tylko w aspekcie samych rozwiązań technicznych, lecz również w aspekcie ekonomicznym i społecznym. Czynnikiem ludzki w tym przypadku odgrywa znaczącą rolę, ponieważ większości osobom robotyzacja czy też automatyzacja nierozzerwalnie kojarzy się z odbieraniem ludziom pracy.

W ostatnim czasie nawiązaliśmy współpracę z dwiema białostockimi firmami. Mają one znaczący (jak na warunki województwa) stopień zatrudnienia pracowników oraz zautomatyzowania produkcji. Obie również działają w tej samej branży. W tytule naszego artykułu posłużyliśmy się określeniem „duże zakłady przetwórstwa tworzyw sztucznych”. Co rozumiemy przez to określenie? Mamy tu na myśli przedsiębiorstwa, które z półproduktu (granulat) wytwarzają gotowy element; produkcja w nich odbywa się w sposób ciągły, wielkoseryjny i zatrudniają przy tym kilkaset osób.

Postanowiliśmy przy tej okazji określić cechy tej robotyzacji „po polsku” i porównać z dostępnymi nam wzorcami zachodnimi. Pomogło to nam również się zorientować jak wygląda rynek pracy dla automatyków w naszym regionie i co czeka studentów po studiach.

Na początek rozpatrzmy aspekt rozwiązań technicznych. Opiszemy, jakie procesy są zautomatyzowane oraz jakimi środkami to uzyskano. Przeanalizujemy stanowisko pracy w zakładzie od strony technicznej. Przybliżymy również podział zadań między maszyną a pracownikiem oraz przedstawimy jego zakres obowiązków. W dalszej części przyjrzymy się bliżej aspektom pozatechnicznym, takim jak rynek pracy, czynniki ekonomiczne i społeczne związane z robotyzacją przemysłu. Na koniec przedstawimy propozycję dalszej modernizacji istniejących stanowisk robotycznych. Podsumujemy również nasze obserwacje związane z problemami robotyzacji występującymi w tych zakładach.

## 2. WYPOSAŻENIE TECHNICZNE STANOWISK PRACY

W obu przedsiębiorstwach robotyzacja dotyczy procesów bezpośrednio związanych z przetwarzaniem tworzyw sztucznych. Manipulatory, głównie pracujące w układzie kartezyjskim, o napędzie pneumatycznym lub elektrycznym (w tym serwomechanizmy) obsługują wtryskarki. Są to głównie procesy transportowe. Manipulator wyjmuje wypraskę z formy i przenosi na podajnik taśmowy. Na niektórych stanowiskach dodatkowo usuwa (obcina) wypłytki lub nanosi napisy (metodą stemplowania) na gotowe elementy. Pozostałe czynności, jak pakowanie i paletyzowanie gotowych elementów z tworzywa sztucznego oraz kontrola jakości wykonują pracownicy.

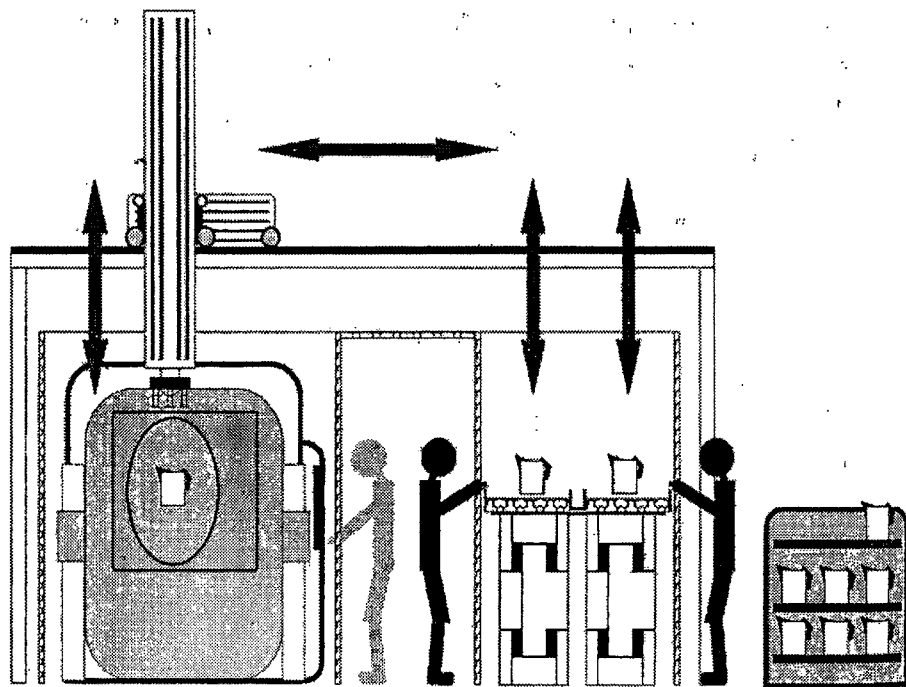
W jednej z firm zastosowany jest robot 6-cio osiowy o konfiguracji przegubowej. Choć konstrukcja jego umożliwi wykonywanie wielu skomplikowanych zadań, to rola jego ogranicza się do przenoszenia elementów z podajnika do maszyny stemplującej, a następnie na stanowisko kontrolowania jakości. Jak nas poinformowano, robot jest teraz testowany i poznawane są jego możliwości. Firma w przyszłości zamierza użyć go do innych, bardziej skomplikowanych zadań.

Oprócz rozpatrzenia możliwości technicznych zakładu, przed zaproponowaniem wariantów możliwej robotyzacji, należałoby zapoznać się przebiegiem procesu produkcji i zwrócić uwagę na to, jakie przy tym zadania do wykonania ma człowiek.

W zakładzie obowiązuje czterozmianowy system pracy. Na każdej zmianie kierownik nadzoruje pracę około 25 osób. Są wśród nich osoby bezpośrednio pracujące przy maszynie (15-20 osób), obsługa techniczna, tak zwani ustawiacze (4 osoby), osoby odpowiedzialne za transport, tak zwani rozdzielacze (3 osoby), kontroler i magazynier. Kontroler przeprowadza wrywkową kontrolę jakości wytworzonego detalu, sprawdzając jego wymiary i wagę, oraz kontrolując kluczowe powierzchnie z punktu widzenia możliwości występowania braków. To on decyduje o zatwierdzeniu całej partii produkcji. Rozdzielacze odpowiadają za załadunek maszyn i ich czyszczenie przy zmianie koloru granulatu. Odbierają palety z gotowymi detalami ze stanowiska i odwożą do magazynu. Ustawiacze odpowiedzialni są za płynność produkcji (interweniują w sytuacjach awaryjnych) oraz zmieniają formy wtryskowe podczas zmiany wytwarzanego asortymentu. Poza tym w zakładzie pełni dyżury główny automatyk, który jako jedyny ma uprawnienia do zmiany oprogramowania urządzeń.

Trzon załogi stanowią operatorzy. W zakres ich obowiązków wchodzi: obsługa maszyn i urządzeń produkcyjnych, kontrola wyrobu przed zapakowaniem i poprawne zapakowanie wyrobu zgodnie ze specyfikacją, wypełnianie dokumentów (tzw. „przywieszek wyrobu”) związanych z wykonaną produkcją, systematyczne obserwowanie i kontrola przebiegu procesu technologicznego, kontrolowanie w niektórych przypadkach wymiarów produktu. Operatorzy pracują w systemie rotacyjnym (każdego dnia przy innej

maszynie). W zależności od typu maszyn operator obsługuje od 1 do 3 wtryskarek jednocześnie. Przy przydzielaniu maszyn pracownikowi pod uwagę bierze się wielkość detalu, czas cyklu procesu oraz czynności dodatkowe związane z kontrolą jakości oraz pakowaniem detalu. Dla przykładu operator pracujący przy maszynie produkującej duże detale w ciemnych kolorach, gdzie występują wypłytki wymagające ręcznego ucięcia, gdzie pracownik umieszcza detal w urządzeniu nadrukowującym napis a następnie gotowy element pakuje w folię i układa na palecie, nie jest w stanie obsługiwać jeszcze dodatkową wtryskarke.



Rys.1. Typowe stanowisko pracy przy gnieździe wtryskarskim

Typowe stanowisko pracy operatora jest przedstawione na rys. 1. Występują również stanowiska, bez manipulatora odbierającego gotowe elementy z gniazda wtryskowego (spadają one bezpośrednio do pojemnika umieszczonego pod wtryskarką). Układ taki stosuje się do detali małogabarytowych, gdy w jednym cyklu wytwarza się kilka elementów jednocześnie. Na takim stanowisku kontrola ogranicza się do okresowego sprawdzenia jakości detalu. Wtryskarki tego typu są w stanie wytworzyć około 5000 elementów podczas zmiany. Operator mający pieczę nad taką maszyną może jednocześnie obsługiwać inną, która wymaga większego zaangażowania.

Czas, na jaki operator może odejść od jednej maszyny, w celu obsługi drugiej, zależy od czasu cyklu pracy i długości taśmy transportowej, na której manipulator umieszcza gotowe elementy.

### 3. ASPEKTY SPOŁECZNO – EKONOMICZNE

Powróćmy do „podziału pracy” w przedsiębiorstwach. Widać tu wyraźnie pierwszą z cech robotyzacji „po polsku”. Roboty wykonują tylko i wyłącznie zadania, których człowiek z uwagi na warunki otoczenia (np. bardzo wysoka temperatura) i stopień niebezpieczeństwa, wykonywać nie może. Pozostałe czynności wykonuje pracownik. Podczas gdy na zachodzie dąży się do ograniczenia roli pracownika do nadzorowania pracy maszyny, u nas manipulatory robią tylko to, co niezbędne, nie odbierając pracy człowiekowi.

Tu zauważamy kolejną ciekawą cechę. Zwiększenie robotyzacji powoduje zwiększenie zatrudnienia w zakładzie. Biorąc pod uwagę stopień bezrobocia w Polsce, fakt ten nie jest zatem bez znaczenia. Dlaczego tak się dzieje? Część firm zachodnich przenosi swoje zakłady do naszego kraju ze względu na niskie koszty produkcji, a konkretnie ze względu na tanią siłę roboczą. Powstają nowe przedsiębiorstwa, ale nie to bezpośrednio zwiększa liczbę miejsc pracy. Ponieważ bardziej opłaca się zapłacić człowiekowi niż wprowadzać dodatkowy osprzęt techniczny, pracodawcy zatrudniają ludzi zarówno do obsługi maszyn, jak i do wykonywania wszystkich innych czynności związanych bezpośrednio z produkcją. Zatem uruchomienie jednej maszyny powoduje wzrost zatrudnienia o kilka kolejnych osób. Tu w grę wchodzi właśnie czynnik ekonomiczny i społeczny związany z robotyzacją przemysłu.

Nazywanie tego stanu stanem zrobotyzowanym jest trochę na wyrost. Mówiąc o robotach mamy na myśli przede wszystkim urządzenia 5-6 osiowe i elastyczny proces ich zastosowania. W obu przedsiębiorstwach tego brakuje. Do obecnego stanu bardziej pasuje określenie „klasyczna automatyzacja”. Stąd też wynikają, przedstawione poniżej, nasze propozycje zrobotyzowania wytwarzania elementów w tych przedsiębiorstwach.

### 4. PROPOZYCJE MODERNIZACJI ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ

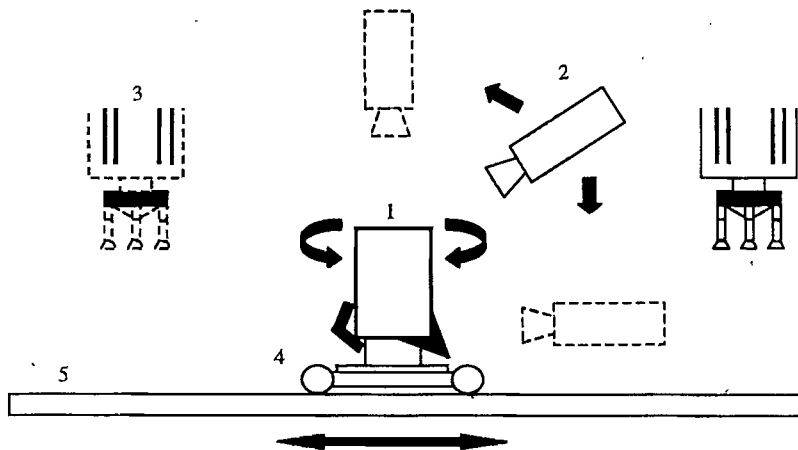
Pierwszym etapem rzeczywistej robotyzacji zakładu, rozumianej jako automatyzacja elastyczna, mogłoby być zautomatyzowanie procesu identyfikacji partii produktu. Obecnie pracownik po zapewnieniu palety elementami musi wypełnić ręcznie i umieścić na palecie „przywieszkę wyrobu” zawierającą takie dane jak: nazwa, projekt, kolor, ilość, data, zmiana/grupa, partia, nr palety ze zmiany, numer formy, numer, nazwisko i imię operatora. Ta ilość danych do wpisania powoduje przerwę w pracy operatora. Jeśli weźmiemy pod uwagę fakt, że niektóre palety zapewniane są średnio co 30 minut, daje nam to całkiem spory okres czasu, który mógłby być wykorzystany na pracę bezpośrednio przy samej maszynie. Tę czasochłonną procedurę można by uprościć stosując do tego prosty system informatyczny. Wypełniałby on automatycznie przywieszkę wyrobu na podstawie informacji wprowadzonej podczas ustawiania parametrów przez automatyka. oraz na podstawie indywidualnego kodu pracownika obsługującego aktualnie stanowisko.

Kolejnym logicznym etapem może być zastąpienie człowieka przy podejmowaniu decyzji dotyczących sprawdzania jakości produktów. W tym celu zastosować można typowy układ wizyjny, kontrolujący element już w trakcie transportu z gniazda wtryskowego na taśmę podajnika i segregujący elementy na te, które spełniają kryteria jakości oraz na braki produkcyjne. Układ taki pozwalałby na skrócenie czasu cyklu technologicznego z racji wystąpienia procesów równoległych, a właściwie równoczesnych (transport, ocena jakości i selekcja). Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest fakt, że

podjęcie decyzji nie zależy w tym przypadku od zmęczenia pracownika. Zapewnia się więc wysoką powtarzalność wykrywania wad elementów.

Głównym zadaniem zakładów przetwarzających tworzywa sztuczne, obok zagadnień opłacalności ekonomicznej i dużej wydajności produkcji, jest również utrzymanie właściwej jakości produkowanych wyrobów. W zakładach, które odwiedziliśmy, pracownicy przed zapakowaniem wyprasek zajmują się przede wszystkim estetyczną oceną jakości wyrobu. Do ich obowiązków należy wyszukiwanie i identyfikacja następujących wad wyprasek: niedolewy, niewłaściwe wymiary, zapłyvky, obecność pęcherzy, zła jakość nadruku, wtrącenia, kropelki, zabrudzenia olejem, przypalenia, zmatowienia, zapady, deformacje, linie płynięcia, smugi, łezki, odbarwienia, srebrzenie, uszkodzenia powierzchni (rysy, obicia, otarcia, itd.). Pracownicy kontrolujący wypraski podlegają działaniu czynników negatywnie wpływających na jakość oceny produktu. Do tych czynników należą: pogarszająca się w zależności od czasu pracy percepcja wzrokowa oraz zmienna dyspozycja psychofizyczna pracownika. Zadaniem wizyjnego systemu kontroli jakości byłoby ułatwienie kontroli wyprasek, a także wyeliminowanie wpływu niedyspozycji pracowników na jakość ich oceny.

Zaawansowany poziom systemów wizyjnych umożliwia całkowitą eliminację pracownika z procesu kontroli pewnych wad: np. wymiarów, niedolewów, itd. Może to wydatnie ułatwić ocenę jakościową innych parametrów np. wskazując je tylko do ostatecznej weryfikacji pracownikowi.



Rys.2. Układ kontroli jakości z systemem wizyjnym: 1 - wypraska, 2 - kamera, 3 - chwytnik główny, 4 - wózek pomocniczy, 5 - rampa pomocnicza

Przykładem rozwiązania może być układ z rys.2. Moduł systemu kontroli jakości znajduje się na górnej rampie chwytnika głównego. Chwytnik główny transportuje wypraskę do wózka pomocniczego, na którym osadza ją powierzchnią nie podlegającą estetycznej ocenie jakości. Wypraska transportowana jest na koniec rampy pomocniczej, w trakcie jej ruchu kamera rejestruje dane, które są przesyłane bezpośrednio do komputera. Komputer dokonuje analizy zebranych danych, porównując je z danymi wzorcowymi. Na końcu rampy pomocniczej wypraskę podejmuje ponownie chwytnik główny i w zależności od decyzji systemu kontroli jakości transportuje do stanowiska pakowania lub do stanowiska ostatecznej weryfikacji, dokonywanej przez pracownika.

Ostatni, najpoważniejszy (zarazem wymagający największych nakładów inwestycyjnych) etap robotyzacji zakładu powinien objąć transport bliski i pakowanie. Tu możemy rozważyć kilka rozwiązań robotycznych. Pierwsze to zastąpienie taśm transportowych stołami indeksującymi, które odpowiadałyby od razu za rozmieszczenie elementów na palecie. W układzie takim możemy zostawić zadanie odbioru zapełnionych palet człowiekowi lub wprowadzić zrobotyzowany system transportu od maszyny do magazynu.

Innym rozwiązaniem jest zmiana ustawienia maszyn w taki sposób, aby elementy z kilku taśm transportowych (należących do różnych wtryskarek) dostarczane były w jedno miejsce. Tu robot, np. o konfiguracji przegubowej, wsparty systemem wizyjnym, rozpoznawałby poszczególne elementy, rozdzielał i umieszczał je w odpowiednich paletach. Zastąpiłoby to pracę od 3 do 5 pracowników. Transport do i z magazynu, tak jak w poprzednim rozwiązaniu, mógłby być wykonywany przez człowieka lub zostać zrobotyzowany.

Przedsiębiorstwa często wstrzymują się z wprowadzaniem nowych rozwiązań ze względu na duże ryzyko finansowe związane z faktem, że wybrane rozwiązanie może nie sprawdzić się w danym zakładzie. W tym celu, poza przeprowadzeniem dokładnej analizy kosztów, dobrze jest wcześniej przeprowadzić symulację proponowanych rozwiązań. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele programów umożliwiających zbudowanie i przetestowanie wirtualnych systemów robotycznych. Jednym z nich jest oprogramowanie do modelowania, programowania i symulacji COSIMIR<sup>®</sup>, firmy FESTO.

COSIMIR<sup>®</sup> jest programem pracującym w środowisku Windows. Używany jest do planowania systemu robot - komórka robocza, kontrolowania osiąganych przezeń pozycji, tworzenia programów sterujących dla robotów, optymalizacji rozmieszczenia gniazd roboczych. Wszystkie ruchy robotów oraz urządzeń współdziałających (np. przenośników taśmowych, stołów indeksujących) mogą być symulowane z uwzględnieniem warunków optymalizacji cyklu pracy i uniknięciem możliwej kolizji. Istnieje również możliwość, w trybie TEACH-IN, automatycznego generowania pozycji ramienia robota oraz bezpośredniego załadowania testowanych programów sterujących, przetworzonych przez wewnętrzny interpretator, do układu sterującego robota.

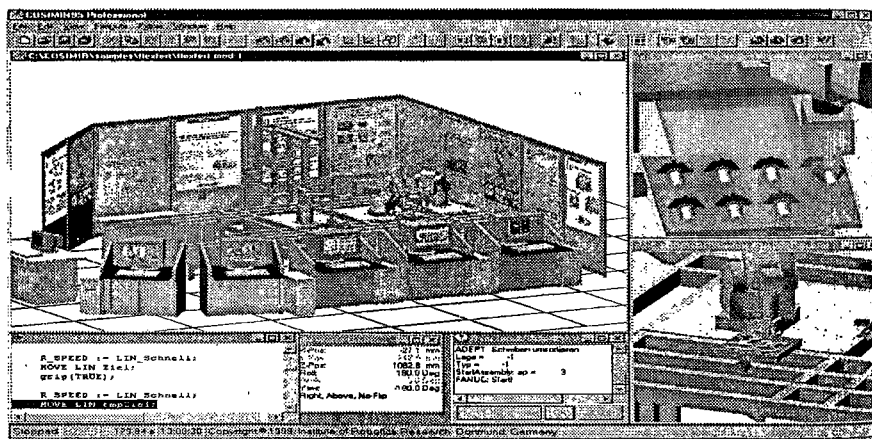
Oprogramowanie COSIMIR<sup>®</sup> ma duży wybór bibliotek modeli. W bibliotekach zestawione są gotowe do użycia modele, do których można dodać nowe obiekty lub tylko ich części w modelowanych komórkach roboczych. Program umożliwia skorzystanie z bibliotek robotów następujących firm i producentów: ABB, ADEPT, FANUC, KUKA, MANUTEC, MITSUBISHI, NIKO, REIS, VW.

Oprócz dostępnych w bibliotekach materiałów (np. aluminium, stal, polietylen, polipropylen, szkło), które wykorzystać można do modelowania elementów komórki roboczej, można również skorzystać z biblioteki podstawowych brył (np. prostopadłościów, stożek, walec, kula), z których możliwe jest tworzenie elementów otoczenia i wyposażenia komórki. Istnieje też biblioteka tekstur z przygotowanymi do wykorzystania pokryciami.

Komórkę roboczą modeluje się przez wyszczególnienie (specyfikację) w nowym projekcie interesujących osobę projektującą elementów, z określeniem ich właściwości. Chodzi tu o to, że dodaje się wybrany typ robota lub też kilku robotów, wybiera się odpowiedni rodzaj chwytaka i przypisuje się go do kołnierza robota, tworzy się pozostałe obiekty wchodzące w skład projektu, edytuje punkty uchwycenia (ich pozycję i orientację).

Zaprojektowaną komórkę wraz z robotami programuje się używając języka wyższego poziomu. Program COSIMIR® umożliwia wykorzystanie do tego celu następujących języków: IRL (Industrial Robot Language), BAPS (Bosch Automatisierungs - Programmier-Sprache), MRL (Mitsubishi Robot Language), SPRL (Simple Robot Programming Language), MELFA Basic III, RAPID, KRL (Kuka Robot Language). Programowanie polega na wypełnieniu listy pozycji przypisanej danemu robotowi, z zapamiętaniem kolejnych przesunięć ramion, operowania przedmiotem procesowanym, przesunięć i uchwycić obiektów.

Pakiet COSIMIR® ma różne moduły funkcjonalne. Do najważniejszych z nich należą: wykrywanie kolizji, symulacja sensora, generowanie trajektorii, symulacja procesu, symulacja sterownika PLC, moduł latającej kamery, moduł działania obiektu. Przedstawione moduły rozszerzające dostępne są w zależności od posiadanej przez użytkownika wersji oprogramowania (Professional, Industrial, Educational). Niektóre z modułów mogą występować opcjonalnie, inne mogą być w ogóle nie dostępne. Wbudowane moduły znacznie wpływają na komfort i efektywność pracy osoby projektującej zrobotyzowaną komórkę roboczą, a sam proces modelowania, programowania i symulacji staje się bardziej realistyczny, co pokazuje przykładowy interfejs (rys.3).



Rys.3. Widok interfejsu programu Cosimir® z kompletnie zamodelowaną komórką roboczą

## 5. PODSUMOWANIE

Jeszcze do niedawna robotyzacja dotyczyła głównie zagadnień technicznych i ekonomicznych. Szukało się rozwiązań najbardziej efektywnych od strony technicznej oraz umożliwiających osiągnięcie w przyszłości zysków kompensujących początkowe nakłady finansowe. Obecnie dochodzi do tego jeszcze jeden aspekt, tzn. aspekt społeczny. Chcąc pomyślnie przeprowadzić proces robotyzacji w zakładzie powinno się raczej zacząć od tego, co moglibyśmy nazwać oświeceniem robotycznym przedsiębiorców i pracowników. Najgorsze, co może być to niewiedza. Z nią wiąże się zawsze niepewność, a gdzie niepewność tam i sprzeciw przeciwko nieznanemu. Dlatego uważamy, że zanim podejmie się decyzję o wprowadzaniu zmian należałoby przeprowadzić spotka-

nia szkoleniowe z dyrekcją i załogą zakładu. Na tych spotkaniach należy przedstawić wszystkie aspekty związane z danym problemem robotyzacji.

Poruszyliśmy zagadnienie wizualizacji propozycji robotyzacji. Za stosowaniem oprogramowania w projektowaniu i wdrażaniu kompleksowych rozwiązań robotycznych przemawiają następujące argumenty:

- Zwiększenie produktywności poprzez symulowanie działania systemu robotycznego za pomocą komputera, przez co zmniejsza się czas postoju na rzeczywistej linii produkcyjnej,
- Możliwość zoptymalizowania ruchu robota, w stosunku do cyklu i jakości wykonywanej pracy, przed załadowaniem programu do rzeczywistego układu sterującego robotem, możliwość zapobieżenia kolizjom robota i całego systemu,
- Kompleksowe zaprojektowanie systemu robotycznego, z możliwością wizualizacji przedstawianej koncepcji rozbudowy i modernizacji istniejących, rzeczywistych rozwiązań:

Naszym zdaniem potrzebne jest systemowe, całościowe podejście do zagadnień robotyzacji. Dla szukania racjonalnych dróg modernizacji trzeba robotyzować procesy towarzyszące, takie jak transport, logistyka itd. Stąd też nasze propozycje rozwiązań, które nie ingerują w proces główny, ale skupiają się na procesach takich, jak np. identyfikacja partii produktu. To jest pierwszy etap robotyzacji. W kolejnym zaproponowaliśmy zmodernizowanie kontroli jakości a następnie transportu bliskiego i pakowania. Na tym etapie najczęściej następuje konflikt aspektu technicznego i pozatechnicznego robotyzacji, gdyż tu najwyraźniej zmniejsza się liczba stanowisk pracy dla ludzi.

Widać wyraźnie, że niektóre problemy robotyzacji mają charakter lokalny. Dlatego zachodzi potrzeba ich rozpoznania i badania.