

Dr inż. Jan Barczyk
Instytut Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej
mgr inż. Lech Bożenko, mgr inż. Kazimierz Kunicki
Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Urządzeń Sterowania Napędów w Toruniu

PROJEKTOWANIE MASZYN MANIPULACYJNYCH Z ELEMENTÓW SYSTEMU PROFILI ALUMINIOWYCH

W referacie przedstawiono problematykę budowy maszyn manipulacyjnych, w szczególności metody łączenia profili aluminiowych, budowy modułów ruchowych i struktur kinematycznych maszyn. Podstawowymi elementami systemu budowy maszyn są profile aluminiowe o różnym kształcie i wymiarach. Maszyna składa się z kilku zespołów ruchu liniowego, ustawionych prostopadle względem siebie. Moduły ruchu mają napęd elektryczny, a w niektórych zastosowaniach również napęd pneumatyczny. W zależności od zastosowania użytkownicy określają typ narzędzia mocowanego do maszyny, między innymi do cięcia, frezowania, dozowania, klejenia itp.

DESIGN OF THE MANIPULATION MACHINES IN THE SYSTEM OF ALUMINIUM PROFILES

In the paper is introduced a problem of building the modular machines have been characterised, particularly: methods of connecting of aluminium profiles, building of dynamic modules and kinematics structure of machines. The fundamental elements of the machine building system are aluminium profiles, with different forms and sizes. The machine consists of a few perpendicularly combined linear movement units. The dynamic modules can be driving with electric or pneumatic energy. Any user determines the application of the machine according to a tool mounted on it; between others it is worth to suggest that it is very useful as a milling, cutting and engraving device.

1. WPROWADZENIE

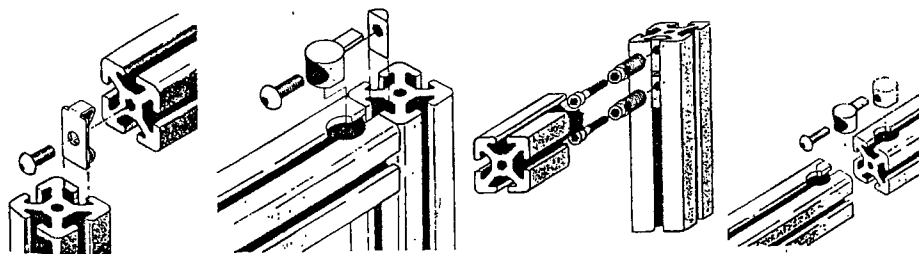
Naukowe podstawy systemu budowy maszyn i urządzeń [1] sprowadzają analizę każdej konstrukcji do wydzielenia elementów konstrukcyjnych, określanych jako podstawowe i niepodzielne składniki. Taki element stanowi jednolitą bryłę ukształtowaną w żądany sposób różnymi metodami obróbki. Przez połączenie elementów konstrukcyjnych uzyskuje się zespoły: proste (zawierające połączenie jednego rodzaju) lub złożone (zawierające połączenia kilku rodzajów). Natomiast połączenie zespołów prostych i złożonych oraz elementów konstrukcyjnych tworzy mechanizm; układy mechanizmów tworzą urządzenia lub maszyny. Istotnym problemem, z punktu widzenia konstruktora, jest możliwość korzystania z bogatego zestawu zunifikowanych i znormalizowanych elementów konstrukcyjnych - ułatwia to i przyspiesza proces konstruowania. Równocześnie współczesne oprogramowanie komputerowe umożliwia analizowanie poprawności rozwiązań konstrukcyjnych, szybkie wprowadzanie zmian, tworzenie różnych wersji projektowanych maszyn itp. Zbudowane z

zuniifikowanych zespołów maszyny tworzą elastyczne środki automatyzacji produkcji [2]. Korzystanie z takiego zestawu zdecydowanie przyspiesza projektowanie i budowę różnorodnych maszyn, urządzeń i innych konstrukcji wytwarzanych głównie w systemie produkcji jednostkowej. Stosowanie elementów systemu profili aluminiowych umożliwia również szybkie uruchomienie instalacji technologicznych, ułatwia kontrolę pracy maszyn i urządzeń oraz stwarza możliwość rozbudowywania stanowisk przy zmianach asortymentu produkcji, zawsze angażując środki finansowe niższe niż przy tradycyjnych rozwiązaniach. Z tych też względów coraz więcej firm, np. Altratec, Bosch, Kanya, Maytec, Paletti, Schüco, SKF, ISEL i inne oferują różne zestawy profili aluminiowych

1.1. System MB

System MB, opracowany przez firmę Item, należy do najbardziej rozbudowanych systemów elementów profili aluminiowych. System ten opiera się na połączeniach rozłącznych poszczególnych węzłów konstrukcyjnych (rys. 1). System MB zawiera następujące grupy:

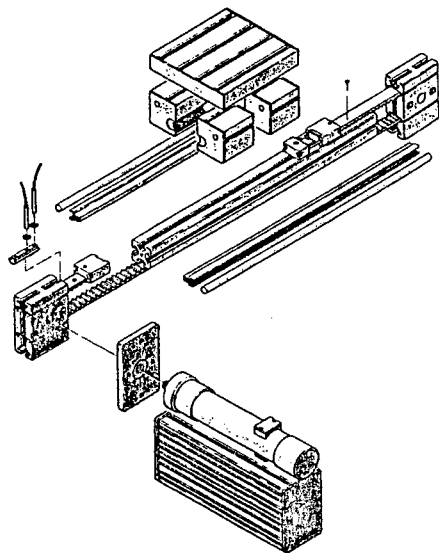
- typoszereg elementów podstawowych o trzech podstawowych wielkościach: 5, 6 i 8 mm, wykonanych jako lekkie i wzmocnione profile aluminiowe,
- listwy, pokrywy maskujące i osłony, aluminiowe i z tworzyw sztucznych,
- elementy złączne, mocujące, ustalające, także uchwyty, zawiasy i zamki,
- stałe i ruchome osłony, wykonane jako siatki lub szyby,
- elementy instalacyjne, jako obudowa przewodów oraz urządzeń elektroniki,
- elementy pneumatyki, połączenia i uszczelnienia,
- czujniki i układy sterowania,
- liniowe moduły kinematyczne, napędzane ręcznie, pneumatycznie lub elektrycznie,
- oprogramowanie CAD na CD-ROM.



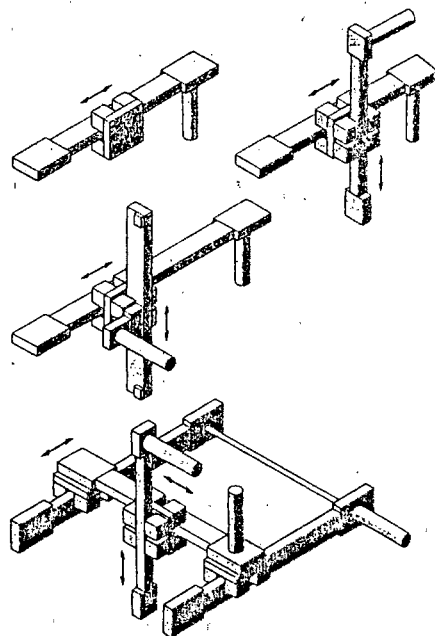
Rys. 1. Rodzaje połączeń elementów systemu MB

System MB, składający się z ponad 2000 części, jest ciągle rozwijany o nowe elementy i rozwiązania. Tak duża różnorodność elementów stwarza ogromne możliwości budowy maszyn i urządzeń oraz stanowisk produkcyjnych i ich wyposażenia. Konstrukcja tworzona jest przez projektanta z profili aluminiowych o różnych przekrojach i różnych kształtach. proste i złożone zespoły konstrukcyjne uzyskuje się stosując bogaty zestaw elementów złącznych, umożliwiający realizację połączeń stałych i ruchomych. Każdy rodzaj połączenia powinien zapewnić najwyższą wytrzymałość, trwałe połączenie siłowe, prawidłowe położenie (pozycjonowanie) profili. Połączenia w systemie MB są łatwe w realizacji, gdyż wymagane jest tylko wykonanie wierceń i nagwintowanie otworów. Powierzchnie profili są galwanicznie anodowane na kolor naturalny lub czarny, nie wymagają żadnej dodatkowej obróbki powierzchniowej, są odporne na ścieranie, nie przewodzą prądu elektrycznego do 24V. Dla

zwiększenia efektów estetycznych połączeń w systemie MB przewidziano listwy profilowe oraz przykrywki, o różnych wymiarach i kształtach.



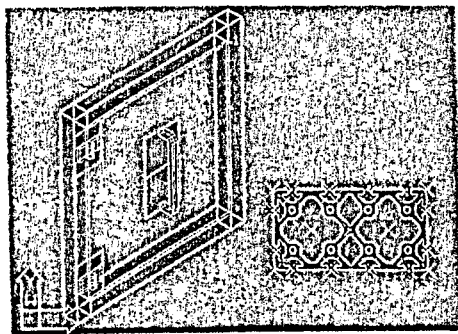
Rys. 2. Budowa typowego modułu ruchu liniowego z napędem elektrycznym



Rys. 3. Przykłady modułowych konstrukcji manipulatorów wieloosiowych

1.2. Komputerowe wspomaganie projektowania

Istotnym elementem w procesie wytwórczym maszyn i urządzeń budowanych w systemie MB firmy Item jest sprawne i szybkie projektowanie wykorzystujące oprogramowanie MB *Quick&Easy*, współpracujące z systemem projektowania *AutoCAD*. System komputerowego wspomaganie projektowania z elementów systemu MB zawiera: bibliotekę elementów, bazę danych, warianty konstrukcji, arkusz kalkulacyjny oraz listy zamówień itp. Program umożliwia tworzenie konstrukcji w przestrzeni trójwymiarowej (3D) oraz dokonywanie oglądu konstrukcji z różnych kątów widzenia.



Rys. 4. Fragment ekranu podczas projektowania

W bibliotece elementów program zawiera wszystkie elementy systemu MB zgodnie z katalogiem. Po wybraniu rodzaju (wymiaru) elementu program umożliwia dokonanie wyboru profilu, określenie żądanej długości oraz kąta ustawienia. Ponowny wybór kolejnych elementów i dobór odpowiednich elementów złącznych szybko prowadzi do

stworzenia żądanej konstrukcji (rys. 4). Po nadaniu numerów elementom konstrukcji automatycznie generowana jest tabelka z wykazem wszystkich części.

Dzięki arkuszowi kalkulacyjnemu możliwe jest automatyczne wygenerowanie kosztów materiałów całej konstrukcji oraz utworzenie listy zamówień na elementy systemu MB.

2. MODUŁOWE SYSTEMY BUDOWY MASZYN

Modułowe konstrukcje maszyn umożliwiają budowę jednostek kinematycznych dostosowanych do wymagań stanowiska produkcyjnego oraz stwarzają szansę zintegrowania jednostki kinematycznej z konstrukcją nośną stanowiska. Moduły mogą być również wykorzystywane jako samodzielne zespoły ruchu w celu automatyzacji czynności manipulacyjnych lub produkcyjnych.

Istotną zaletą modułowych systemów manipulacyjnych jest łatwość transportu, przechowywania, wymiany uszkodzonych zespołów oraz możliwość wykorzystania niepotrzebnych modułów w nowych konstrukcjach.

Typowy moduł ruchu (rys. 2) jest wyposażony w: układ napędowy, układ prowadnic, czujniki położenia krańcowych oraz dodatkowo w napędach pneumatycznych: nastawną ograniczniki ruchu dwupołożeniowego pozycjonowania, współpracujące z amortyzatorami, blok zaworów rozdzielających, a także płyty sprzęgowe i bloki mocujące umożliwiające łączenie poszczególnych modułów itp. W przypadku napędu pneumatycznego stosuje się siłowniki tłoczkowe lub beztłoczkowe. W przypadku napędu elektrycznego ruch liniowy jest realizowany poprzez bezluzową śrubę toczną lub listwę zębatą i kółko zębate.

2.1. Wieloosiowe maszyny

Specjalną grupę urządzeń budowanych w systemie MB są maszyny wieloosiowe sterowane numerycznie (CNC): tokarki, frezarki, plotery i inne maszyny serii MCP i PMC.

Wieloosiowe maszyny sterowane numerycznie mają budowę portalową, wykonaną z anodowanych profili aluminiowych systemu MB. W maszynach tych stosowane są serwonapędy prądu stałego, z których napęd przenoszony jest przez śruby toczne (w MCP) lub paskami zębatymi (w PMC). Powierzchnia robocza stołu maszyn wieloosiowych, dzięki stosowaniu profili aluminiowych, może być wykonywana na zamówienie w zależności od potrzeb użytkownika i może wynosić do 2x3 m.

Frezarka typu MCP ma sterowane napędy DC w trzech osiach (X, Y i Z - śrubowo-toczne) oraz wyposażona jest dodatkowo w podciśnieniowy stół i magazyn narzędzi. Liczba narzędzi w magazynie jest dostosowywana do potrzeb użytkownika.

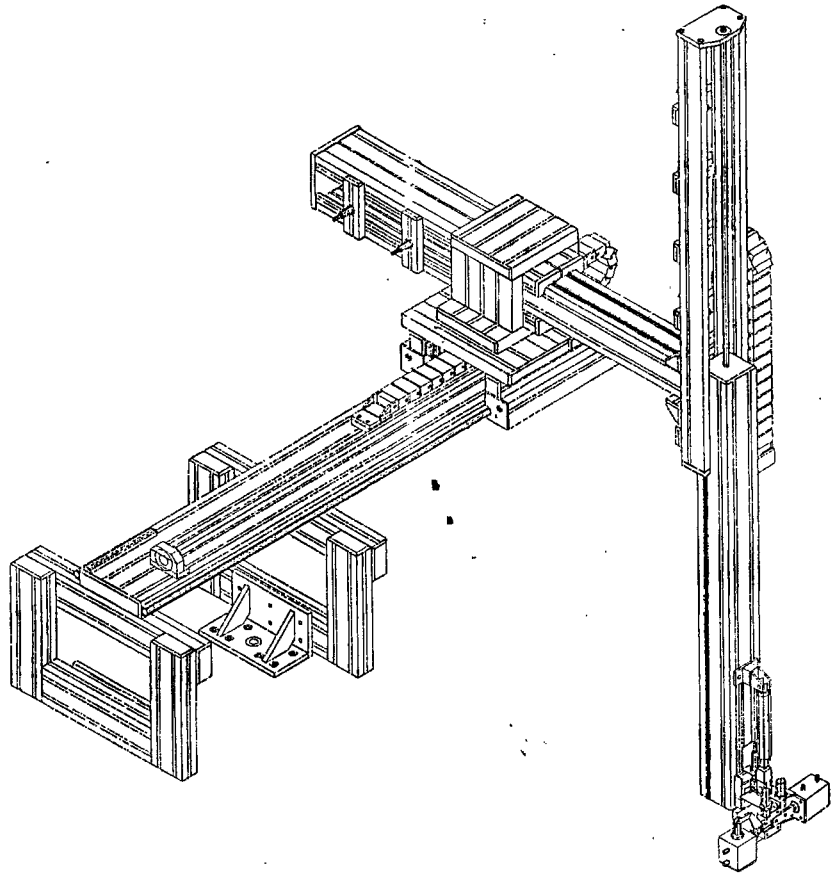
Plotery z głowicą tnącą przeznaczone są do obróbki płaskiej (z dwustanowym przemieszczeniem narzędzia - 2.5 D), natomiast maszyny z wrzecionem wysokoobrotowym przeznaczone są do obróbki przestrzennej (3D).

2.2. Systemy manipulacyjne o konstrukcji modułowej

Opracowane w kraju modułowe systemy manipulacyjne [3] zawierają liniowe i obrotowe moduły ruchu oraz moduły konstrukcyjne umożliwiające dopasowanie jednostki kinematycznej do wymagań stanowiska produkcyjnego. Programowalne układy sterowania umożliwiają sterowanie jednostkami kinematycznymi oraz urządzeniami technologicznymi procesu produkcyjnego.

2.2.1. Manipulatory z napędem pneumatycznym i elektrycznym

Manipulator serii *ZELMAN* składa się z trzech modułów ruchu liniowego o zakresach przemieszczeń: 900 mm w osi X, 335 mm w osi Y oraz 750 mm w osi Z [4]. Jako zespoły napędowe w modułach ruchu liniowego zastosowano siłowniki pneumatyczne (tłoczkowe i bez-tłoczkowy dla osi X), co pozwoliło wyeliminować użycie przekładni. W modułach zastosowano amortyzację dobiegu, umożliwiającą łagodne dojście do zderzaka. Amortyzacja zrealizowana została na drodze czysto pneumatycznej z wykorzystaniem dławika oraz dodatkowego zaworu sterowanego sygnałem z czujnika indukcyjnego - w końcowej fazie ruchu sprężone powietrze z opróżnianej komory siłownika zespołu napędowego kierowane jest przez zawór na dławiki. Manipulator *ZELMAN* wyposażony został w dodatkowe ruchy, niezbędne w procesie obsługi wtryskarki: ruch końcówek chwytnych, przechył głowicy oraz obcięcie wlewka. Wszystkie te ruchy realizowane są także w pneumatycznej technice napędowej (rys. 5). Głowica mocowana do ostatniego ruchomego członu manipulatora, może pełnić różne zadania: służyć tylko do uchwycenia detalu, do uchwycenia detalu i zmiany jego położenia, albo do uchwycenia detalu, zmiany jego położenia oraz wykonywania dodatkowych czynności technologicznych, np. odcinania wlewka.



Rys. 5. Widok manipulatora *ZELMAN*

Problemy chwytania detali rozwiązywane są indywidualnie dla każdego zastosowania robota; w szczególności detale uzyskiwane metodą wtrysku, różniące się kształtem, wymiarami, grubością ścianek, itp. wymagają stosowania specjalnych urządzeń chwytających. Dodatkowe wymagania nakładają zadania dotyczące jakości powierzchni - nie powinny być widoczne ślady uchwycenia. W zależności więc od konkretnego detalu stosuje się chwytanie za wlewki, chwytanie za powierzchnie wewnętrzne (także wykorzystanie otworów), przysawki pneumatyczne itp. W manipulatorze *ZELMAN* zastosowano urządzenia czujnikowe sygnalizujące osiągnięcie krańcowych położeń w osiach: *X*, *Y* i *Z*, przechylenie głowicy, położenie noża obcinaka, obecności obiektu w chwytaku oraz pojawienia się przeszkody na stanowisku składowania.

Manipulator serii *MEP-3* składa się z trzech modułów ruchu liniowego o zakresach przemieszczeń: 1300 mm w osi *X*, 50 mm w osi *Y* oraz 650 mm w osi *Z*.

Zespół napędowy dla osi *X* stanowią silnik bezszczotkowy prądu stałego RTctm 85-1,7 oraz serwonapęd SDA-5. Charakterystyczną cechą serwonapędów bezszczotkowych jest bezobsługowość silnika (brak szczotek) oraz stałość momentu w funkcji obrotów. Prędkość przemieszczania w osi *X* jest regulowana. W modułach ruchu liniowego *Y* i *Z* zastosowano siłowniki pneumatyczne. W modułach zastosowano amortyzację dobiegu, umożliwiającą łagodne dojście do zderzaka. Amortyzacja zrealizowana została na drodze czysto pneumatycznej z wykorzystaniem dławika oraz dodatkowego zaworu sterowanego sygnałem z czujnika indukcyjnego - w końcowej fazie ruchu sprężone powietrze z opróżnianej komory siłownika zespołu napędowego kierowane jest przez zawór na dławiki.

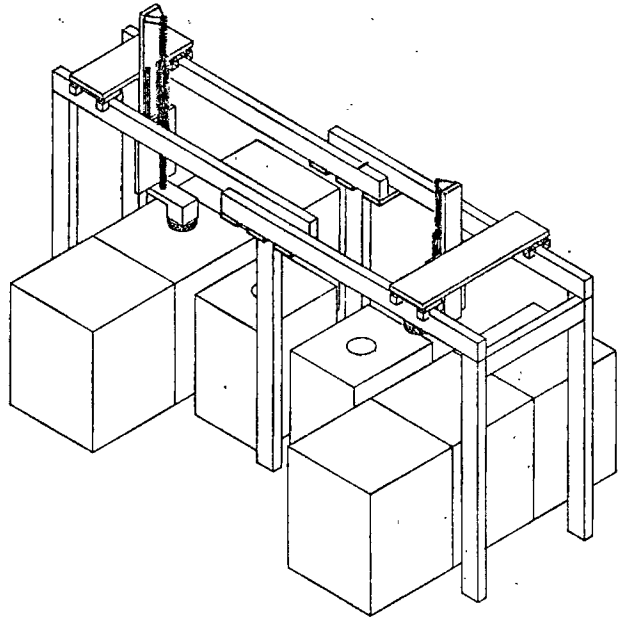
2.2.2. Manipulatory portalowe

Manipulatory portalowe najczęściej projektowane są dla już istniejących stanowisk produkcyjnych, gdy brak miejsca uniemożliwia postawienie robota obok stanowiska. Manipulatory te budowane są w prostokątnym układzie współrzędnych. W zależności od zastosowania w manipulatorach stosowane są napędy pneumatyczne lub elektryczne. Coraz częściej stosowane są jednostki ruchu liniowego systemu *MB* napędzane silnikiem bezszczotkowym *AC* z wykorzystaniem precyzyjnej bezluzowej śruby tocznej (funkcję śruby może zastąpić pasek zębaty). Jako serwonapęd wykorzystuje się regulator prędkości pracujący w pętli sprzężenia zwrotnego z rezolwera, natomiast regulacja położenia jest realizowana za pomocą inteligentnego sterownika, wykorzystującego sygnały przetwornika obrotowo-impulsowego.

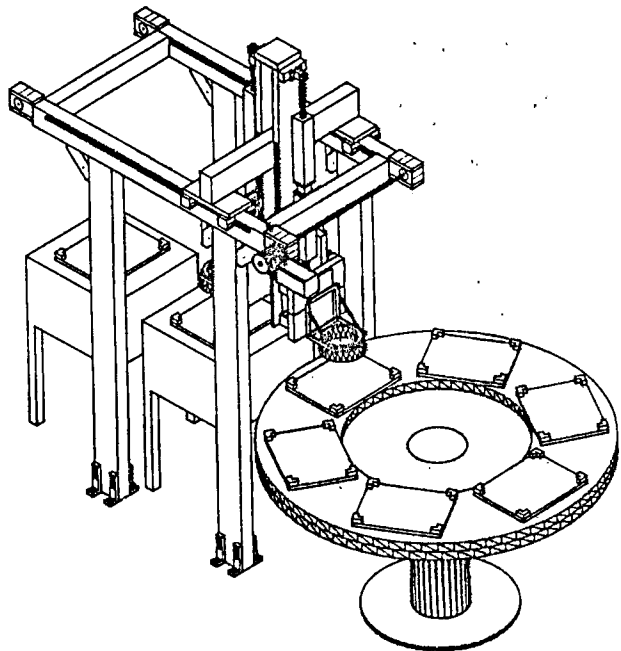
2.2.3. Zastosowania manipulatorów

Manipulatory serii *MEP-3* zostały zastosowane do obsługi wtryskarek [6], lecz z powodzeniem mogą być stosowane również do obsługi innych maszyn. Zamontowany w Zakładzie Produkcji Form, Narzędzi Specjalnych i Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych *GRAFORM* w Bydgoszczy manipulator pracuje w cyklu około 18 sek., wyjmując z formy 8 gniazdowej około 128000 elementów w ciągu jednej zmiany. Na rysunku 2 przedstawiono schemat stanowiska z manipulatorem, zainstalowanym na wtryskarce. Manipulatory o podobnej konstrukcji, wykonane tylko w pneumatycznej technice napędowej (seria *ZELMAN*) zastosowano w ubiegłych latach między innymi do obsługi wtryskarek w Zakładach Zmechanizowanego Sprzętu Domowego *ZELMER* w Rzeszowie [5].

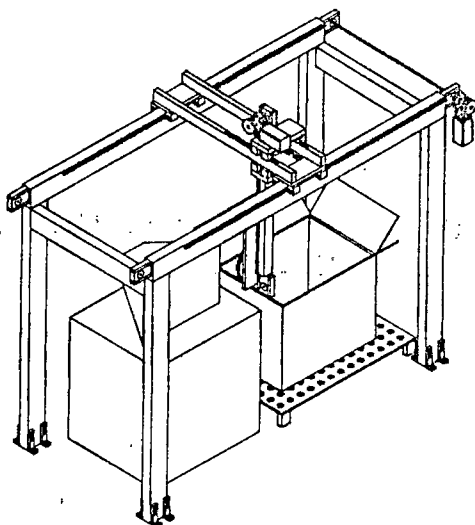
Manipulatory portalowe zastosowano w zakładach *THOMSON-Polcolor* przy przenoszeniu kineskopów (rys. 7) oraz do pakowania telewizorów w zakładach *THOMSON-Żyrardów* (rys. 8).



Rys. 6. Manipulatory portalowe dla 4 stanowisk



Rys. 7. Manipulator portalowy na stanowisku przenoszenia kineskopów



Rys. 8. Manipulator portalowy na stanowisku pakowania telewizorów

3. UWAGI KOŃCOWE

System *MB* jest kompletnym systemem konstrukcyjnym, wykorzystywanym do budowy maszyn, zapewniającym lekkość i odpowiednią wytrzymałość konstrukcji. Konstruowanie maszyn w systemie *MB*, dzięki komputerowemu wspomagananiu umożliwia szybkie i oszczędne projektowanie przy minimalnym nakładzie pracy, a dzięki łatwemu montażowi; pozwala na szybkie uruchomienie maszyn, uruchomienie zrobotyzowanego stanowiska, zawsze angażując środki finansowe niższe niż przy tradycyjnych rozwiązaniach.

Do obsługi wielu maszyn z powodzeniem wystarcza manipulator z trzema ruchami liniowymi w prostokątnym układzie współrzędnych oraz zespołem ruchów lokalnych (w zależności od przeznaczenia dodatkowe dwa lub trzy stopnie swobody).

Wieloosiowe maszyny sterowane numerycznie znalazły zastosowanie w produkcji małoseryjnej i jednostkowej, na przykład frezowanie w metalach (np. miedź, aluminium) lub tworzywach sztucznych, wycinanie kształtów w drewnie, gumie, gąbce itp. Plotery wykorzystywane są w pracowniach reklam, przy nacinaniu folii samoprzylepnej, grawerowaniu napisów itp.

LITERATURA

- [1] Puff T., Sołtys W.: *Podstawy technologii montażu maszyn i urządzeń*. WNT, Warszawa 1980.
- [2] Bożenko L.: *Techniczne środki automatyzacji produkcji OBRUSN*. Mechanik, nr 3, 1994, str. 87-89.
- [3] *Roboty przemysłowe PR-02*. WNT. Robotyka, nr 3, 1989.
- [4] Barczyk J., Bożenko L.: *Roboty przemysłowe ZELMAN - budowa, sterowanie i zastosowania*. Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej nr 96, str. 111-118.
- [5] Barczyk J., Kunicki K.: *Automatyzacja obsługi wtryskarek z wykorzystaniem manipulatorów ZELMAN*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 1996. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Automatyka, z. 119, str. 151-159.
- [6] Barczyk J., Buszyniewicz A., Dogiel K., Sucharewicz J.: *Manipulatory elektroprężne do obsługi wtryskarek*. Pomiar Automatyka Robotyka, nr 7-8, 1999, str. 24-26.