

# SPIS TREŚCI

	PRZEDMOWA DO WYDANIA DRUGIEGO .....	9
	WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ .....	11
1.	WSTĘP .....	15
2.	ROBOTYKA I JEJ ZAKRES .....	17
	2.1. Pojęcia podstawowe.....	17
	2.2. Działy robotyki .....	24
	2.3. Zakres systematyzacji .....	26
	2.4. Pytania.....	26
3.	MECHANIKA MANIPULATORÓW .....	29
	3.1. Modele manipulatorów i robotów.....	29
	3.2. Struktura manipulatorów .....	36
	3.3. Układy współrzędnych i ich transformacja ....	43
	3.3.1. Przykłady transformacji układów .....	63
	3.4. Metody analizy kinematycznej	
	manipulatorów .....	70
	3.4.1. Zadanie proste kinematyki	
	– metoda macierzowa i metoda wektorowa ....	70

	3.4.2. Zadanie odwrotne kinematyki .....	90
	3.4.3. Przykłady .....	118
	3.5. Pytania.....	150
4.	<b>DYNAMIKA MANIPULATORÓW .....</b>	<b>151</b>
	4.1. Analiza statyczna – siłowa .....	152
	4.1.1. Transformacja sił i momentów.....	152
	4.2. Kinetostatyka manipulatorów .....	155
	4.2.1. Masy i masowe momenty bezwładności .....	157
	4.2.2. Siły bezwładności i momenty sił bezwładności .....	167
	4.2.3. Zastosowanie równań Newtona- Eulera w kinetostatyce .....	167
	4.2.4. Wyznaczanie reakcji w parach kinematycznych manipulatora metodą wektorową .....	171
	4.3. Metoda równań Lagrange’a w dynamice manipulatorów .....	179
	4.3.1. Energia kinematyczna, energia potencjalna, siły uogólnione .....	179
	4.3.2. Równanie manipulatora .....	187
	4.4. Dynamika manipulatorów z uwzględnieniem tarcia .....	193
	4.5. Dynamika a sterowanie manipulatorami robotów przemysłowych.....	200
	4.5.1. Pozycjonowanie .....	201
	4.5.2. Manipulator jako obiekt sterowania .....	203
	4.6. Przykłady analizy dynamicznej.....	207
	4.7. Pytania .....	237
5.	<b>ZARYS PROJEKTOWANIA MANIPULATORÓW I ROBOTÓW .....</b>	<b>239</b>
	5.1. Synteza manipulatorów .....	240
	5.2. Projektowanie układów napędowych i napędów .....	257
	5.3. Projektowanie wspomagane komputerowo (CAD) .....	270
	5.4. Komputerowe modele manipulatorów i robotów .....	271
	5.5. Pytania .....	274

6.	ZBIÓR TEMATÓW I ZADAŃ .....	275
	6.1. Tematy teoretyczne .....	275
	6.2. Zadania do samodzielnego rozwiązania .....	278
	6.3. Wyniki rozwiązań zadań .....	291
	LITERATURA .....	301
	SKOROWIDZ RZECZOWY .....	303
	DODATEK .....	311

# PRZEDMOWA DO WYDANIA DRUGIEGO

Książka jest podręcznikiem dotyczącym zagadnień, struktury, kinematyki i dynamiki mechanizmów przestrzennych manipulatorów robotów przemysłowych, ujętych ogólną nazwą Teoria Manipulatorów.

Podręcznik przeznaczony jest głównie dla studentów Kierunku Automatyka i Robotyka ale również dla tych wszystkich, którzy interesują się badaniem technicznej realizacji ruchu w mechanizmach przestrzennych o strukturze łańcuchów kinematycznych otwartych.

Wieloletnie doświadczenia potwierdzają słuszność i celowość przyjętego układu książki stopniującej trudność przedstawionych zagadnień i ich ilustracji wieloma przykładami.

Usunięcie usterek z poprzedniego wydania oraz uzupełnienie tekstu i nowe rysunki powinny ułatwić studiującym przyswojenie sobie wiedzy z tej dyscypliny nauki.

*Autor*

## WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

$a_i, b_i, c_i$	- współrzędne przesunięcia początków układów $i$ oraz $j$ ,
$a_x, a_y, a_z$	- składowe wektora $\mathbf{a}$ ,
$b$	- wymiar szerokości,
$c$	- współczynnik,
$d$	- średnica tłoka,
$f$	- częstotliwość,
$g$	- przyspieszenie ziemskie,
$h$	- wymiar grubości,
$h_i$	- długość zmienna członu $i$ ,
$i$	- promień bezwładności, numer klasy węzła, numer układu,
$k$	- stała sztywności,
$k_v, k_s, k_q, k_\delta$	- współczynniki objętości przestrzeni, serwisu, mobilności, wiązki prędkości,
$l$	- wymiar długości, długość stała członu,
$m$	- masa, manewrowość, stopień macierzy,
$m_x, m_y, m_z$	- składowe wektora $\mathbf{m}$ ,
$n$	- prędkość obrotowa, liczba członów ruchomych, stopień macierzy,
$n_x, n_y, n_z$	- składowe wektora $\mathbf{n}$ ,

$p$	- przyspieszenie,
$p_z$	- ciśnienie zasilania,
$p_i$	- liczba węzłów poszczególnych klas,
$p_x, p_y, p_z$	- składowe wektora $\mathbf{p}$ ,
$r$	- promień,
$q_i$	- współrzędna uogólniona,
$s$	- wymiar, przemieszczenie tłoka,
$t$	- czas,
$t_i$	- współrzędna uogólniona,
$w$	- stopień ruchliwości,
$v$	- prędkość,
$x, y, z$	- współrzędne,
$x_s, y_s, z_s$	- składowe wektora położenia środka masy,
$\mathbf{a}, \mathbf{m}, \mathbf{n}$	- wersory orientacji,
$\mathbf{e}$	- wersor (wektor jednostkowy),
$\mathbf{g}$	- wektor przyspieszenia ziemskiego,
$\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$	- wektory podstawowe,
$\mathbf{l}_i$	- wektor długości,
$\mathbf{p}$	- wektor położenia początków układów współrzędnych $i$ oraz $j$ ,
$\mathbf{p}_{pi}$	- wektor przyspieszenia punktu $P$ członu $i$ ,
$\mathbf{r}_{pi,i}$	- wektor położenia punktu $P$ członu $i$ w układzie tego członu $i$ ,
$\mathbf{r}_{pi,0}$	- wektor położenia punktu $P$ członu $i$ w układzie podstawy $0$ ,
$\mathbf{r}_s$	- wektor położenia środka masy członu,
$\mathbf{v}_{pi}$	- wektor prędkości punktu $P$ członu $i$ ,
$\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_j$	- wektory jednorodne współrzędnych układów $i$ oraz $j$ ,
$A$	- praca sił elementarnych,
$A_i$	- powierzchnia tłoka,
$B_x, B_y, B_z$	- momenty masowe bezwładności względem osi $x, y, z$ ,
$B_{xy}, B_{xz}, B_{yz}$	- momenty odśrodkowe bezwładności,
$E$	- moduł sprężystości Junga,
$E_i$	- energia kinetyczna członu,
$F$	- pole powierzchni, siła,
$G$	- siła ciężkości,
$H$	- wymiar,
$L$	- potencjał kinetyczny,
$M$	- masa, moment siły,
$N$	- moc, siła normalna,

$P$	- siła,
$Q$	- siła ciężkości,
$Q_j$	- operator różniczkowy,
$Q_i$	- siła uogólniona,
$S$	- siła, środek masy,
$T$	- okres drgań,
$V$	- energia potencjalna,
$V_{\max}$	- energia potencjalna maksymalna,
$V_r, V_k, V_j$	- przestrzenie: robocza, kolizyjna, jałowa,
$A, B, C$	- macierze,
$A_j$	- macierz przekształcenia elementarnego kwadratowa $4 \times 4$ ,
$B^T$	- macierz transponowana,
$B_{ij}$	- macierz orientacji $3 \times 3$ ,
$[B]$	- tensor bezwładności,
$E$	- macierz jednostkowa,
$B^\wedge$	- macierz pseudoinercji,
$F_i$	- wektor siły zewnętrznej,
$G_k$	- wektor sił ciężkości,
$K_0$	- wektor krętu względem punktu 0,
$M$	- wektor momentu,
$M_b$	- wektor momentu sił bezwładności,
$M_{SN}$	- wektor momentu sił napędowych,
$M_T$	- wektor momentu sił tarcia,
$N$	- wektor siły normalnej,
$P$	- wektor siły,
$R_{ij}$	- wektor reakcji oddziaływania członu $i$ na członu $j$ ,
$T$	- wektor siły tarcia,
$Tr$	- ślad macierzy,
$U_{ik}$	- iloczyn macierzy pochodnych względem współrzędnej uogólnionej,
$\alpha$	- kąt obrotu wokół osi $x$ ,
$\alpha_{kj}$	- elementy macierzy,
$\beta_j$	- kąt obrotu wokół osi $y$ , elementy macierzy kolumnowej,
$\gamma$	- kąt,
$\omega$	- prędkość kątowna,
$\varepsilon$	- przyspieszenie kątowe,
$\mu$	- współczynnik tarcia,
$\theta_i$	- kąt obrotu wokół osi $z$ ,
$\Omega_j$	- współczynnik,

$\omega_i$	- wektor prędkości kątowej członu $i$ ,
$\varepsilon_i$	- wektor przyspieszenia kątowego członu $i$ ,
$\alpha$	- macierz,
$\beta$	- macierz kolumnowa,
$\gamma$	- macierz,
$Q_j$	- operator różniczkowy
$\Delta$	- symbol skończonego przyrostu,
$\Sigma$	- znak sumy,
$\partial$	- znak różniczkowania cząstkowego.



## ROZDZIAŁ 1.

# WSTĘP

Można przyjąć umownie, że rozwój techniki robotyzacyjnej wiąże się z rozpoczęciem prac naukowo-badawczych nad budową maszyn manipulacyjnych około 1954 roku.

W Polsce podjęto pierwsze prace związane z budową maszyn manipulacyjnych w latach 70-tych. Kierunek rozwoju robotyki jako dyscypliny naukowej nadały głównie prace Adama Moreckiego profesora Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej.

Ogólnie można powiedzieć, że za maszynę manipulacyjną uważa się maszynę cybernetyczną czyli urządzenie techniczne przeznaczone do częściowego lub całkowitego zastąpienia funkcji energetycznych, fizjologicznych i intelektualnych człowieka.

Jeżeli maszyna taka przeznaczona jest do zastąpienia przemysłowego pracy człowieka nazywa się ją przemysłową maszyną manipulacyjną. Pewne maszyny mogą wykonywać wyłącznie ruchy manipulacyjne sterowane automatycznie i te nazywa się manipulatorami, jeśli taka maszyna ma zdolności lokomocyjne, wówczas mówimy, że jest to robot. Robot ma więc zdolności manipulacyjne i lokomocyjne sterowane automatycznie według określonego programu a całość stanowi odpowiednią konstrukcję o określonych parametrach statycznych,

dynamicznych i energetycznych.

Szczególnym przypadkiem takiego robota jest robot przemysłowy wykorzystywany w procesie produkcyjnym.

Robotyka jako dyscyplina naukowa obejmuje teorię, realizację i stosowanie maszyn manipulacyjnych. Ujęte to zostało w działach: robotyka teoretyczna, robotyka przemysłowa, robotyka medyczna, robotyka ogólna. Dział pierwszy dotyczy teorii manipulatorów robotów. Teoria manipulatorów jako dział robotyki jest nauką o technicznej realizacji ruchu w maszynach manipulacyjnych, które mogą mieć strukturę łańcuchów kinematycznych otwartych lub zamkniętych. Obejmuje zagadnienia struktury, kinematyki oraz dynamiki..

Struktura manipulatorów bada właściwości geometryczne mechanizmów. W kinematyce rozpatruje się ruch manipulatora bez jego związku z siłami. Dynamika bada ruch manipulatorów pod działaniem sił i obejmuje metody określenia tych sił.

Kinematyka i dynamika obejmują zagadnienia analizy i syntezy manipulatorów. Synteza manipulatorów zajmuje się tworzeniem mechanizmów odpowiadających określonym warunkom kinematycznym i dynamicznym i stanowi podstawę projektowania co częściowo przedstawione zostało w rozdziale „Zarys projektowania manipulatorów i robotów”.

## ROZDZIAŁ 2.

# ROBOTYKA I JEJ ZAKRES

Pod pojęciem robotyki uważa się dyscyplinę naukową zajmującą się teorią, realizacją i stosowaniem maszyn cybernetycznych manipulacyjno-lokomocyjnych.

Robotyka obejmuje swym zakresem oprócz wymienionych również sterowanie automatyczne, układy sensoryczne<sup>1\*</sup> badanie maszyn manipulacyjnych, techniczno-organizacyjne aspekty zastosowania maszyn manipulacyjnych i ekonomikę zastosowań.

## 2.1. POJĘCIA PODSTAWOWE

W teorii manipulatorów występują określenia i pojęcia, które wymagają przedstawienia i objaśnienia.

Do pojęć i określeń tych należą:

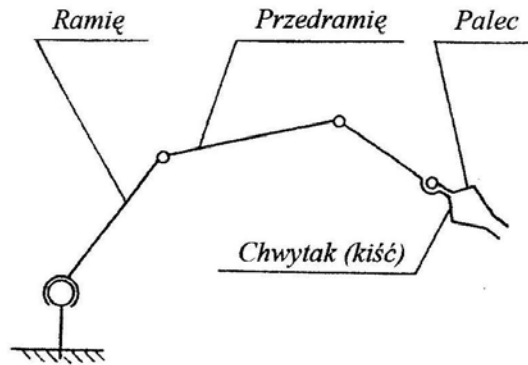
**Manipulator.** Manipulatorem nazywać będziemy układ techniczny przeznaczony do realizacji niektórych funkcji kończyny górnej człowieka<sup>2\*</sup>.

---

<sup>1\*</sup> Układ sensoryczny jest to układ przetwarzający informacje o stanie środowiska roboczego pochodzące z urządzeń sensorycznych do postaci akceptowanej przez układ sterowania maszyny manipulacyjnej. Urządzenie sensoryczne jest to czujnik lub zespół czujników służący do przyjmowania informacji o środowisku roboczym.

<sup>2\*</sup> Jest to określenie według A. Moreckiego profesora Instytutu Lotnictwa i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej (1929 - 2001).

Urządzenia te stosuje się tam gdzie bezpośrednia obecność człowieka jest niemożliwa lub niewskazana np. w przypadku występowania radioaktywności, ciśnienia, temperatury, toksyczności. Początkowo tworzono manipulatory na wzór ręki ludzkiej tzw. antropomorficzne i nadano im nazwę pochodzącą od łacińskiego słowa „minus”. Manipulator na wzór ręki człowieka zawiera części noszące nazwy ramię, przedramię, kiść, rys. 2.1.



Rys. 2.1. Manipulator antropomorficzny

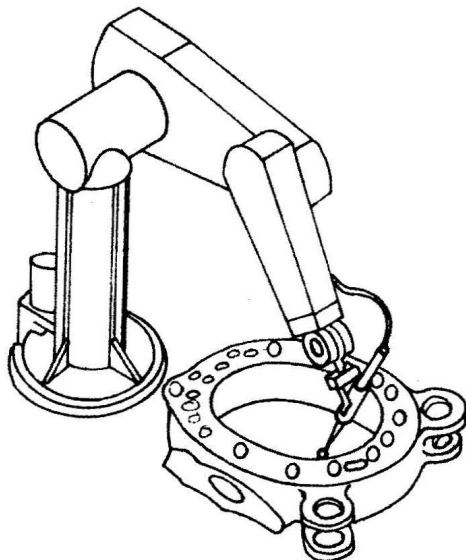
Obecnie manipulatory przyjmują formy nieantropomorficzne, chociaż niektóre nazwy pozostały np. chwytek i znajdują różnorodne zastosowanie. W pierwszym okresie rozwoju manipulatory były sterowane ręcznie odwzorowując ruch ręki człowieka w wydzielonej przestrzeni ale w sposób mało dokładny.

Następne wykonane były już z napędem mechanicznym, potem z napędem serwomechanicznym a obecnie sterowane programami komputerowymi bez udziału człowieka.

**Robot.** Urządzenie techniczne, przeznaczone do realizacji niektórych czynności manipulacyjnych lokomocyjnych, nazywa się robotem. Robot posiada określony poziom energetyczny, informacyjny i inteligencji maszynowej.

**Robot przemysłowy.** Szczególnym przypadkiem robota jest robot przemysłowy wg Robot Institut of America (RIA) pod pojęciem robota przemysłowego rozumiemy programowalny wielofunkcyjny manipulator zaprojektowany do przenoszenia części, wyrobów i innych urządzeń poprzez różne zaprogramowane ruchy, niezbędne do zrealizowania różnych zadań. W typowym dla robota przemysłowego przypadku składa się on z trzech podstawowych układów tj. układu zasilania, układu sterowania i układu ruchu tzw. jednostki kinematycznej ruchu.

**Jednostka kinematyczna.** Jednostką kinematyczną jest mechanizm kinematyczny z dołączonymi napędami, tworzący układ ruchu maszyny manipulacyjnej, rys. 2.2.



Rys. 2.2. Jednostka kinematyczna robota przemysłowego

Mogą wystąpić jednostki kinematyczne:

- modułowe, zbudowane z zespołów ruchu pochodzących z zestawu tworzącego modułowy system manipulacyjny,
- monolityczny, o niezmiennalnej konstrukcji,
- pseudomodułowe, o zmiennej konstrukcji mechanizmu.

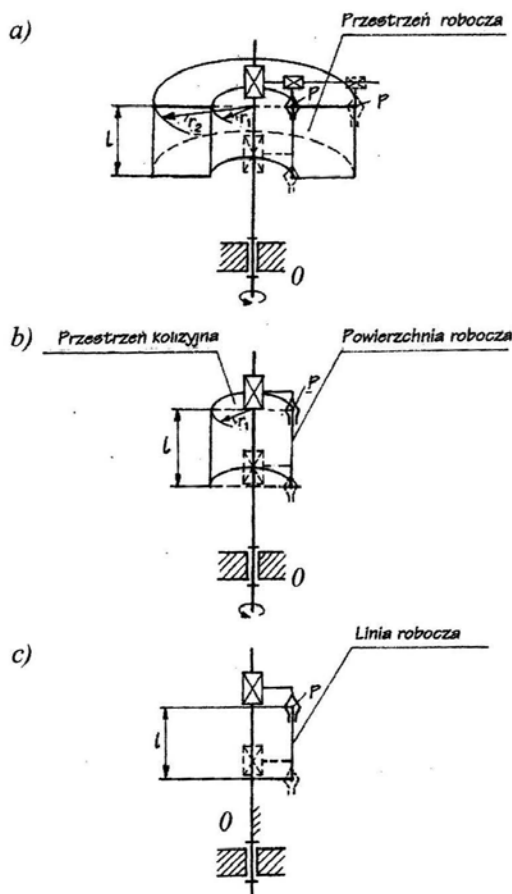
**Przestrzeń kolizyjna**, robocza główna i robocza pomocnicza, robocza, oraz ruchu jałowego. Przestrzeń w obrębie której zawierają się wszystkie elementy konstrukcyjne i przemieszczają się wszystkie człony mechanizmu jednostki kinematycznej nazywa się przestrzenią kolizyjną.

**Człon**<sup>3\*</sup> stanowiący zakończenie jednostki kinematycznej zwany chwytakiem<sup>4\*</sup> przemieszcza się w obrębie tej części przestrzeni kolizyjnej, którą nazywa się przestrzenią roboczą główną, natomiast przestrzeń, w której działają dodatkowe człony jak na przykład zespoły

<sup>3\*</sup> Członami jednostki kinematycznej czyli łańcucha kinematycznego otwartego czy zamkniętego nazywamy elementy składowe połączone w sposób umożliwiający ich ruch względny. Najczęściej członem (w TMM zwanym ogniwem) jest element sztywny lub zespół elementów stanowiących jeden sztywny układ ciał. Mogą również wystąpić człony podatne.

<sup>4\*</sup> Chwytaikiem jest urządzenie służące do pobrania, trzymania i uwolnienia obiektu transportowego przez maszynę manipulacyjną.

ruchu lokalnego<sup>5\*</sup> nazywa się przestrzenią roboczą pomocniczą. Obie te przestrzenie tworzą ogólnie przestrzeń roboczą. Przestrzeń roboczą główną czy strefą roboczą, która jest miejscem manipulacji chwytaka jest również miejscem możliwych położenia punktu mocowania przedmiotu przemieszczanego manipulatorem. Wielkość i kształt przestrzeni roboczej głównej zależy od struktury manipulatora i jego wymiarów geometrycznych. Strefę tę jako przestrzeń przedstawia rys. 2.3a, jako powierzchnię rys. 2.3b np. robot malarski, a w szczególnym przypadku jako linię rys. 2.3c. Strefy robocze dzielą się dodatkowo na



Rys. 2.3. Przykłady występowania: a) przestrzeni roboczej, b) powierzchni roboczej, c) linii roboczej

<sup>5\*</sup> Zespół ruchu lokalnego realizuje działania orientacji i chwytania obiektu manipulacji.

klasy w zależności od istnienia określonych ograniczeń np. przeszkód. Część przestrzeni kolizyjnej pomniejszonej o przestrzeń roboczą nazywa się przestrzenią ruchu jałowego. Przestrzenie robocze i kolizyjne dzielą się nadto na mechaniczne i sterownicze.

**Przestrzenie mechaniczne** wynikają z konstrukcyjnych właściwości jednostki kinematycznej z korekcjami pochodzącymi np. od sumowania luzów w połączeniach członów, statycznymi i dynamicznymi odkształceniami sprężystymi elementów konstrukcyjnych. Przestrzenie te są większe od przestrzeni określonej na podstawie geometrycznych wymiarów mechanizmów.

**Przestrzenie sterownicze** uwzględniają ograniczenia sterownicze wynikające z właściwości układów pomiarowych przemieszczeń, ograniczeń zakresu przetwarzania oraz właściwości samego układu sterowania. Stosunek przestrzeni roboczej i jałowej lub roboczej i kolizyjnej określa poprawność przyjętego rozwiązania struktury jednostki kinematycznej maszyny manipulacyjnej. Dane rozwiązanie jest tym lepsze im większa jest przestrzeń robocza w stosunku do przestrzeni kolizyjnej.

**Pozycjonowanie.** Ruch sterowany członu roboczego chwytaka lub narzędzia maszyny manipulacyjnej wskutek doprowadzenia zespołów ruchu jednostki kinematycznej do zadanych położeń nazywa się pozycjonowaniem.

Zespoły ruchu jednostki kinematycznej mają pozycjonowanie w sposób ciągły zwane sterowaniem ciągłym. Jeżeli pozycjonowanie jest dwupołożeniowe zwykle zderzakowe jest to sterowanie punktowe, pozycjonowanie wielopunktowe zwykle numeryczne jest sterowaniem wielopunktowym.

**Tor ruchu.** Linia przemieszczenia wybranego punktu chwytaka lub narzędzia podczas sterowania lub pracy automatycznej jednostki kinematycznej nazywa się torem ruchu.

**Układy odniesienia, układy współrzędnych.** Przestrzenie i tory ruchu jednostki kinematycznej określa się w układzie osi współrzędnych zwanych układem odniesienia.

Układ osi współrzędnych związany ze strukturą jednostki kinematycznej stanowi układ maszyny. Podstawowy układ osi współrzędnych mechanizmu maszyny manipulacyjnej jest układem prostokątnym, w którym osi  $x$  i  $z$  leżą w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez ostatni zespół ruchu regionalnego<sup>6\*</sup> przy czym oś  $x$  jest równoległa do płaszczyzny podstawy mechanizmu. Zwroty ruchu w przypadku ruchów liniowych i obrotowych przyjmuje się odpowiednio do kierunku

<sup>6\*</sup> Zespół ruchu regionalnego (wszystkie człony jednostki kinematycznej bez członu roboczego) realizujący podstawowe dla manipulatora działania manipulacyjne.

na zewnątrz mechanizmu oraz w kierunku prawoskrętnym. Pozostałe układy osi współrzędnych są identyczne.

**Układy sterowania.** Układ sterowania maszyny manipulacyjnej ma dwa zadania:

- zadanie pierwsze główne, związane jest z realizacją toru ruchu chwytaka,
- zadanie drugie sterowania dotyczy rozpoznania środowiska oraz identyfikacji obiektu manipulacji.

Wynikający z pierwszego zadania podział układów sterowania maszyn manipulacyjnych związany z kryterium sposobu realizacji toru ruchu ma charakter funkcjonalny.

Wyróżnia się dwie klasy układów sterowania sterowania punktowego (Point Control), sterowania ciągłego (Path Control).

W przypadku sterowania punktowego istotne jest osiągnięcie przez człony mechanizmu jednostki kinematycznej, takie jak chwytak lub narzędzie, wybranych punktów w przestrzeni roboczej z określoną dokładnością (błędem pozycjonowania). Sposób przejścia ma znaczenie podrzędne wobec wymagania szybkości tego przemieszczenia. Wyróżnia się:

- sterowanie punktowe PTP (Point To Point) jednostkami kinematycznymi wyposażonymi w zespoły ruchu o dwóch stabilnych zadawanych pozycjach (początku i końca) umożliwiające realizację ograniczonego kształtowania toru ruchu,
- sterowanie wielopunktowe MP (Multi Point) lub PTP-MP o większej niż dwa liczbie zadawanych pozycji umożliwiające realizację założonego kształtowania toru ruchu przez wykorzystanie punktów podporowych toru<sup>7\*</sup> [20]. W sterowaniu ciągłym CP (Continuous Path) istotne jest powtarzalne odtwarzanie zaprogramowanego na całej długości toru ruchu. Przejścia między początkowym a końcowym położeniem spoczynkowym ma tu znaczenie podstawowe.

Odchylenie od toru i prędkość ruchu muszą być kontrolowane i sterowane. Układ sterowania realizujący drugie zadanie ma na celu:

- rozpoznanie środowiska np. stanu procesu produkcyjnego oraz identyfikacji obiektu manipulacji,
- oddziaływanie na środowisko np. sterowanie maszynami. Funkcję tę spełnia układ sensoryczny.

**Układ sensoryczny.** Układ sensoryczny ma zapewnić maszynie manipulacyjnej zdolność wypracowania w oparciu o informacje wytworzone przez urządzenie sensoryczne decyzji sterowniczych dotyczących jednostki kinematycznej i chwytaka oraz środowiska.

<sup>7\*</sup> Punkt podporowy toru jest punktem toru ruchu robota, którego współrzędne są ustalone podczas programowania.



Urządzeniem sensorycznym jest czujnik lub zespół czujników współpracujących z przetwornikami i układami analiz wyników pomiarów. Urządzenia te mogą być instalowane bądź na jednostce kinematycznej lub w określonych miejscach stanowiska produkcyjnego. Układ sterowania umieszczony jest poza jednostką kinematyczną ze względu na wpływ zakłóceń i bezpieczeństwo obsługi.

**Układ zasilania.** Układ zasilania stanowi najczęściej osobne urządzenie. Jeżeli jednostka kinematyczna zawiera serwonapędy elektryczne wówczas układy zasilacza zawierają układy tyrystorowe, układy prostowników, przemienników częstotliwości i napięcia. Zasilacze zawierające serwonapędy hydrauliczne zawierają pompę, zbiornik, filtry, układ chłodzenia oleju.

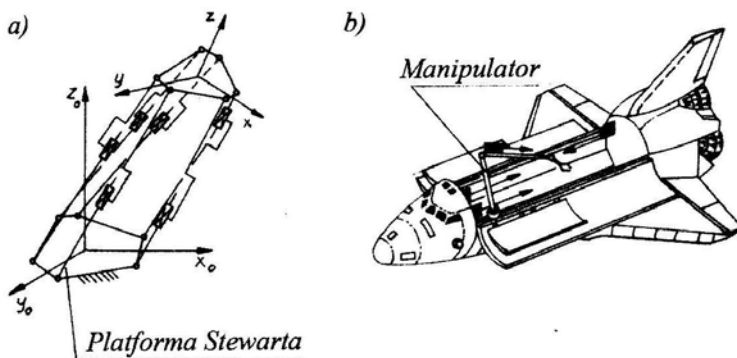
**Serwooperator** to sterowane ręcznie, bezpośrednio manipulatory podnośnikowe spełniające podobne zadania w procesie produkcyjnym jak suwnice, dźwigi i inne urządzenia transportowe.

**Teleoperator** jest to przemysłowy zdalnie sterowany manipulator podnośnikowy wyposażony w rozbudowaną strukturalnie jednostkę kinematyczną w serwomechanizmowe układy napędowe i elektroniczne układy sterowania w tym także komputerowe, wymaga obecności operatora.

**Półroboty czyli roboty zerowej generacji.**

Półrobotem będziemy nazywać urządzenie techniczne mające własności manipulacyjne i lokomocyjne wyposażone w urządzenia rozpoznania i dotyku ale ograniczonych własnościach autonomii działania. Poziom intelektualny półrobot jako układu technicznego jest znikomy.

Manipulatory do zadań specjalnych tzw. manipulatory podatne budowane jako manipulatory segmentowo-dźwigniowe, z segmentami

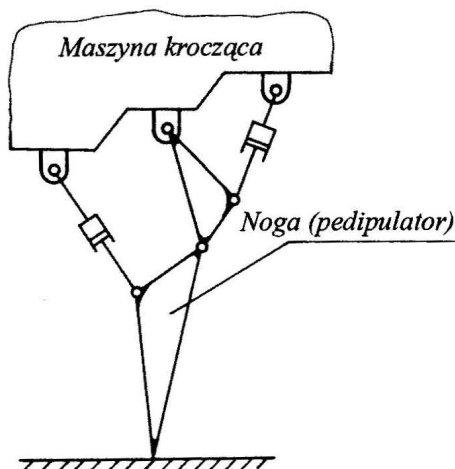


Rys. 2.4. Manipulatory do zadań specjalnych: a) manipulator tzw. platforma Stewarta, b) manipulator jako wyposażenie promów kosmicznych

obrotowymi, w formie trąby słonia oraz inne jak na rys. 2.4. Specjalną klasę stanowią tzw. maszyny kroczące.

**Maszyną kroczącą** nazywa się urządzenie techniczne przeznaczone do realizacji funkcji podobnych do funkcji lokomocyjnych zwierząt i owadów mających kończyny lub odnóża.

**Pedipulatorem** nazywa się nogę maszyny kroczącej, rys. 2.5.



Rys. 2.5. Noga maszyny kroczącej, tzw. pedipulator

Podstawowe cechy eksploatacyjne manipulatorów to: manewrowość, strefa robocza, współczynnik serwisu.

**Manewrowość** określa liczbę  $m$  stopni swobody członów manipulatora przy nieruchomym chwytaku. Cecha ta jest istotna np. przy omijaniu określonych przeszkód w przestrzeni manipulacji.

**Strefa robocza** jest miejscem manipulacji chwytaka (patrz przestrzeń robocza).

**Współczynnik serwisu**  $k_s$  wyraża się stosunkiem wartości kąta bryłowego  $\psi$ , w którym może przyjąć położenie oś chwytaka do całkowitego kąta bryłowego kuli  $4\pi$  czyli  $k_s = \psi/4\pi$ .

Współczynnik ten ma właściwość  $0 \leq k_s \leq 2$ . Wartość  $k_s = 0$  przyjmuje na granicach strefy roboczej.

## 2.2. DZIAŁY ROBOTYKI

Robotyka jest dziedziną nauki i techniki zajmującą się problemami dotyczącymi mechaniki, sterowania ruchem, sensoryki, inteligencji

maszynowej, projektowania zastosowań i eksploatacje manipulatorów, robotów i maszyn kroczących.

Można wyróżnić następujące działy robotyki:

- robotyka teoretyczna (teoria robotów i manipulatorów),
- robotyka przemysłowa (zastosowanie robotów i manipulatorów w przemyśle, budownictwie, rolnictwie, transporcie, chemii, energetyce, łączności, do prac pod wodą i w przestrzeni kosmicznej),
- robotyka medyczna i rehabilitacyjna (manipulatory i roboty do celów chirurgii, terapii, protetyki, rehabilitacji układu człowiek – maszyna system),
- robotyka maszyn lokomocyjnych (jedno, dwu, cztero, sześćo, wielonożnych, mieszanych kołowonożnych do realizacji funkcji chodu, biegu, skoku, pełzania po lądzie i wodzie),
- robotyka ogólna (metody, aspekty ekonomiczne, socjalne, społeczne, kształcenia, terminologii rozwoju i trendów przyszłościowych).

Problematyka robotyki teoretycznej dotyczy zagadnień mechaniki w zakresie analizy i syntezy otwartych łańcuchów kinematycznych manipulatorów i robotów z uwzględnieniem tarcia, luzów, podatności drgań, dokładności pozycjonowania i orientacji, zagadnień obrotu i projektowania napędów i ich układów, sterowania ruchem sensorów i inteligencji maszynowej.

Robotyka przemysłowa dotyczy zagadnień związanych z zastosowaniem robotów i manipulatorów przemysłowych do celów robotyzacji takich procesów jak odlewnictwo, spawalnictwo, malarstwo, lakiernictwo, montaż, obsługa pras i wiele innych procesów szkodliwych i niebezpiecznych dla człowieka.

Prace badawcze i wdrożeniowe w dziedzinie robotyki medycznej i rehabilitacji koncentrują się na wykorzystaniu istniejących robotów i manipulatorów i ich własności funkcjonalnych do celów chirurgii, terapii wspomaganie utraconych funkcji kończyn. Zakres badawczy i techniczny bioniki, biomechaniki inżynierskiej i rehabilitacyjnej.

Rozwój bioniki, której nazwa dotyczy jednostki życia od greckiego słowa „bion” (element układu biologicznego) datuje się od roku 1960. Ten kierunek naukowy zajmuje się zagadnieniami dotyczącymi własności układów biologicznych i ich wykorzystania w budowie układów technicznych, Biomechanika inżynierska zajmuje się badaniami ruchu oraz mechanizmów ruch ten wywołujących ze szczególnym uwzględnieniem człowieka oraz zwierząt i owadów oraz jego modelowaniem dla celów technicznych, medycznych, sportowych i innych.

Biomechanika rehabilitacyjna obejmuje całość zagadnień związanych z

badaniem budową, testowaniem i eksploatacją urządzeń technicznych wspomagających lub zastępujących utracone funkcje kończyn i organów wewnętrznych.

Robotyka maszyn kroczących jest dziedziną zajmującą się mechaniką, projektowaniem i sterowaniem ruchu maszyn kroczących nożnych lub mieszanych nożno-kołowych.

Ostatni dział niezwiązany jest z techniczną realizacją ruchu robotów, manipulatorów i pozostawiamy bez wyjaśnień w tym opracowaniu.

### 2.3. ZARYS SYSTEMATYZACJI

Do najczęściej stosowanych kryteriów podziału klasyfikacyjnego maszyn manipulacyjnych należy zaliczyć kryteria podziału oparte na:

- podobieństwie antropomorficznym człowieka i maszyny,
- sposobie i rodzaju sterowania maszyną,
- rodzaju i budowie mechanizmu układu ruchu maszyny,
- przeznaczenie maszyny.

Stosowane są też kryteria mieszane uwzględniające wspólne cechy wybranych grup maszyn manipulacyjnych.

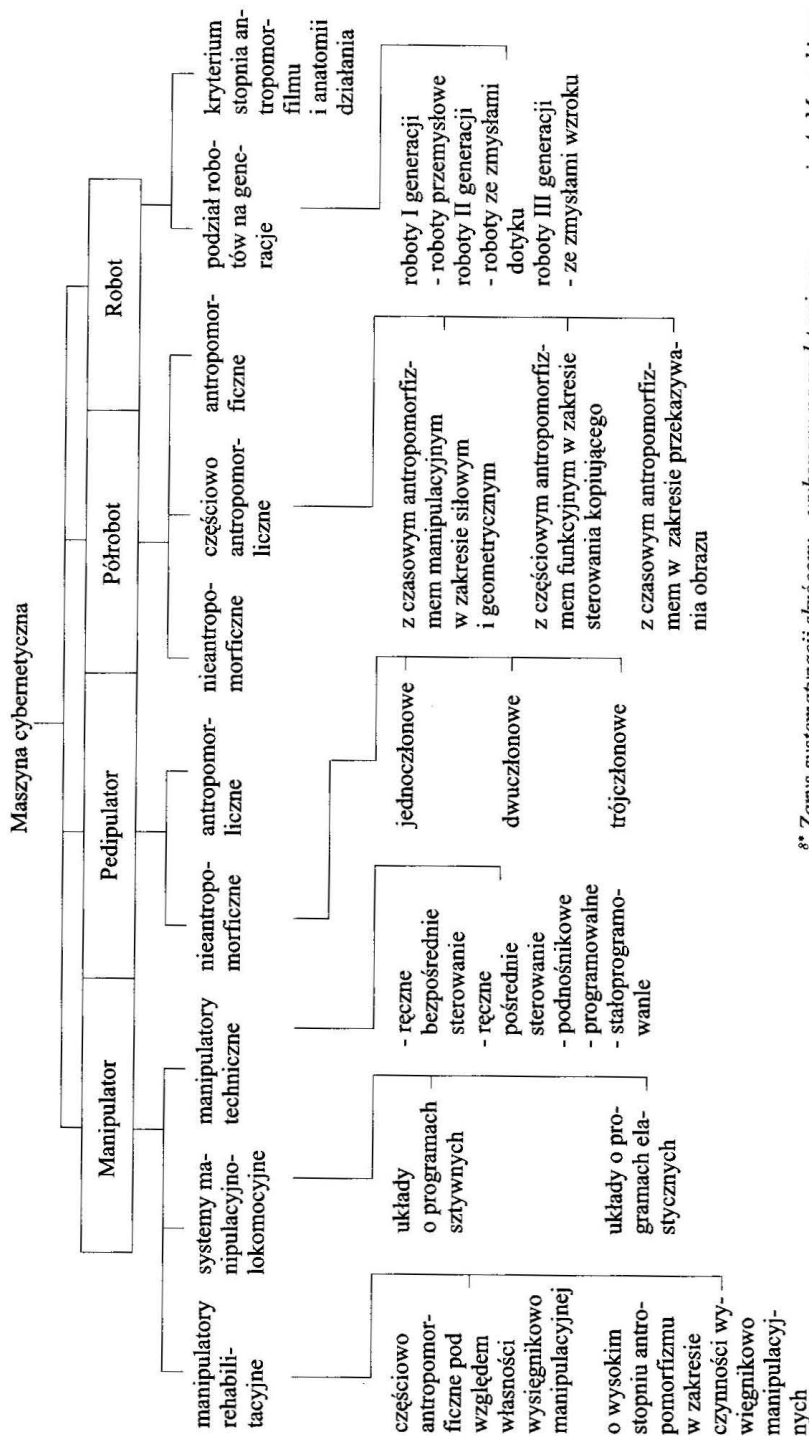
Mogą być systemy klasyfikacyjne stosujące kryteria wielowariantowe opierające się na jednym kryterium podstawowym i kilku pomocniczych. A. Morecki na podstawie kryterium podobieństwa funkcji antropomorficznych istot żywych i maszyn cybernetycznych dzieli i definiuje następująco: manipulator, pedipulator, półrobot, robot, tabela 2.1.

### 2.4. PYTANIA

1. Podać określenie manipulatora, manipulatory antropomorficzne, układy podstawowe maszyny manipulacyjnej.
2. Podać określenie robota i robota przemysłowego.
3. Określić co nazywa się przestrzenią roboczą główną a co przestrzenią roboczą pomocniczą.
4. Co nazywa się pozycjonowaniem.
5. Podać stosowane układy współrzędnych.
6. Podać zadania układu sterowania i rodzaje sterowania.
7. Wyjaśnić określenie – półrobot.
8. Co nazywa się pedipulatorem.
9. Podać podstawowe cechy eksploatacyjne manipulatorów.
10. Podać działy robotyki.

Klasyfikacja maszyn cybernetycznych

Tabela 2.1<sup>8\*</sup>



<sup>8\*</sup> Zarys systematyzacji skrócony – wykonany na podstawie opracowania A. Moreckiego