

---

# Spis treści

---

---

Wstęp	11
<b>1. Rozwój robotyki</b>	<b>15</b>
1.1. Rys historyczny rozwoju robotyki	15
1.2. Dane statystyczne ilustrujące rozwój robotyki przemysłowej	18
1.3. Czynniki stymulujące rozwój robotyki	23
1.4. Zakres i problematyka badawcza robotyki	24
1.5. Prawa robotyki	26
<b>2. Definicje i klasyfikacja robotów przemysłowych</b>	<b>28</b>
2.1. Definicje podstawowe	28
2.2. Klasyfikacja robotów przemysłowych	29
2.2.1. Klasyfikacja robotów ze względu na budowę jednostki kinematycznej	30
2.2.2. Klasyfikacja robotów ze względu na strukturę kinematyczną	30
2.2.3. Klasyfikacja robotów ze względu na sterowanie	35
2.2.4. Klasyfikacja robotów ze względu na rodzaj napędu	37
2.2.5. Klasyfikacja robotów ze względu na wykonywane zadania technologiczne	38
<b>3. Budowa robotów przemysłowych</b>	<b>39</b>
3.1. Podstawy budowy robotów przemysłowych	39
3.2. Roboty monolityczne o szeregowej strukturze kinematycznej	42
3.2.1. Roboty o strukturze kinematycznej przegubowej	42
3.2.2. Roboty o strukturze kinematycznej sferycznej	45
3.2.3. Roboty o strukturze kinematycznej cylindrycznej	46
3.2.4. Roboty o strukturze kinematycznej SCARA	47

3.2.5.	Roboty o strukturze kinematycznej PUMA .....	48
3.2.6.	Roboty o strukturze kinematycznej kartezjańskiej .....	49
3.2.7.	Roboty wielokorbowe .....	51
3.3.	Roboty o budowie modułowej i szeregowej strukturze kinematycznej .....	53
3.3.1.	Wiadomości wstępne .....	53
3.3.2.	Aluminiowe profile konstrukcyjne .....	55
3.3.3.	Przykłady budowy modułowej .....	62
3.4.	Roboty i manipulatory o strukturach równoległych .....	66
3.4.1.	Manipulatory równoległe o trzech stopniach swobody .....	67
3.4.2.	Manipulatory równoległe o większej liczbie stopni swobody .....	69
3.5.	Roboty i manipulatory o strukturach hybrydowych .....	72
3.6.	Roboty mobilne .....	74
3.6.1.	Roboty poruszające się po stałym torze jezdnym .....	74
3.6.2.	Autonomiczne roboty mobilne .....	77

---

## 4. Wprowadzenie do kinematyki robotów 82

---

4.1.	Elementy struktury kinematycznej robotów przemysłowych .....	82
4.2.	Kinematyka robotów o strukturze szeregowej .....	89
4.2.1.	Opis pozycji i orientacji robota .....	89
4.2.2.	Odwzorowania przekształcenia opisów przy przejściu z jednego układu współrzędnych do drugiego .....	91
4.2.3.	Opis kinematyki w notacji geometrycznej .....	93
4.2.4.	Opis kinematyki w notacji Denavita–Hartenberga .....	98
4.3.	Kinematyka robotów o strukturach równoległych .....	106
4.3.1.	Kinematyka manipulatora równoległego typu DELTA .....	106
4.3.2.	Kinematyka manipulatora równoległego hexapod .....	110
4.4.	Kinematyka robotów mobilnych .....	113

---

## 5. Sterowanie robotów przemysłowych 117

---

5.1.	Zadania układów sterowania .....	117
5.1.1.	Reagowanie na działalność operatora .....	118
5.1.2.	Sterowanie w osiach dyskretnych .....	118
5.1.3.	Sterowanie w osiach pozycjonowanych płynnie .....	119
5.1.4.	Sterowanie wejść i wyjść technologicznych .....	125
5.1.5.	Ustalanie kolejności dalszego działania .....	126
5.2.	Klasyfikacja układów sterowania .....	127
5.3.	Układy sterowania teleoperatorów .....	129
5.4.	Programowalne sterowniki logiczne PLC .....	130
5.5.	Układy sterowania numerycznego komputerowego .....	134
5.5.1.	Architektura systemu mikroprocesorowego .....	135
5.5.2.	Struktura sprzętowa układów komputerowych CN .....	138
5.5.3.	Oprogramowanie systemowe .....	141
5.6.	Sterowanie robotów mobilnych .....	146

---

## 6. Programowanie robotów przemysłowych 152

---

6.1.	Wprowadzenie do programowania robotów .....	152
6.2.	Programowanie robotów sterowanych PLC .....	154
6.3.	Programowanie robotów przez nauczanie .....	160
6.3.1.	Panel sterowania .....	160
6.3.2.	Programowanie <i>on-line</i> robota KUKA KR 125 .....	163
6.3.3.	Przykład programowania <i>on-line</i> robota KUKA KR 125 .....	166
6.4.	Programowanie poza stanowiskiem pracy ( <i>off-line</i> ) .....	167
6.4.1.	Języki programowania robotów .....	169
6.4.2.	Programy umożliwiające symulację zrobotyzowanego stanowiska .....	171
6.5.	Programowanie robotów mobilnych .....	174
6.5.1.	Metoda propagacji fali .....	176
6.5.2.	Metoda diagramu Woronoja .....	178
6.5.3.	Graf widoczności .....	178
6.5.4.	Metoda pól potencjałowych .....	180
6.5.5.	Metoda elastycznej wstęgi .....	180
6.5.6.	Algorytmy mrówkowe jako układ planowania toru ruchu .....	181
6.5.7.	Sieci komórkowe do planowania trasy dla robota mobilnego .....	183
6.5.8.	Oprogramowanie do nawigacji robotów mobilnych .....	184

---

## 7. Napędy robotów przemysłowych 188

---

7.1.	Przeznaczenie napędów i zakres ich działania .....	188
7.2.	Napędy pneumatyczne .....	191
7.3.	Napędy elektrohydrauliczne .....	195
7.4.	Napędy elektryczne .....	200
7.4.1.	Napędy prądu stałego z silnikami komutatorowymi .....	201
7.4.2.	Napędy prądu stałego z silnikami bezkomutatorowymi .....	205
7.4.3.	Napędy prądu przemiennego .....	206
7.4.4.	Napędy liniowe .....	211
7.4.5.	Napędy z silnikami skokowymi .....	214
7.5.	Przekładnie mechaniczne .....	217
7.5.1.	Przekładnie mechaniczne przekazujące ruch obrotowy .....	218
7.5.2.	Przekładnie mechaniczne do zmiany ruchu obrotowego na postępowy .....	223
7.5.3.	Redukujące przekładnie mechaniczne .....	225

---

## 8. Efektory robotów przemysłowych 232

---

§ 1.	Zadania urządzeń chwytających .....	232
§ 2.	Klasyfikacja i charakterystyka urządzeń chwytających .....	234
§ 3.	Chwytki mechaniczne .....	236
§ 3.1.	Układy napędowe .....	238
§ 3.2.	Układy przeniesienia napędu .....	239

8.3.3.	Układy wykonawcze chwytaków .....	242
8.3.4.	Dobór chwytaka mechanicznego z oferty rynkowej .....	247
8.3.5.	Projektowanie mechanizmów chwytaka .....	251
8.4.	Chwyty podciśnieniowe .....	256
8.5.	Chwyty elektromagnetyczne i magnetyczne .....	262
8.6.	Narzędzia .....	264
8.7.	Sprzęgi efektorów .....	264

---

## **9. Układy sensoryczne** 269

---

9.1.	Wprowadzenie do układów sensorycznych .....	269
9.2.	Układy pomiarowe położenia i przemieszczenia .....	271
9.2.1.	Potencjometr pomiarowy .....	273
9.2.2.	Selsyn przelicznikowy (rezolwer) .....	274
9.2.3.	Induktosyn liniowy i obrotowy .....	275
9.2.4.	Przetwornik obrotowo-impulsowy i liniał kreskowy .....	277
9.2.5.	Tarcze i liniały kodowe .....	279
9.3.	Układy pomiarowe prędkości .....	281
9.4.	Układy sensoryczne dotyku .....	282
9.4.1.	Czujniki stykowe .....	282
9.4.2.	Przetworniki siły i naprężeń .....	284
9.4.3.	Przetworniki dotykowe typu „sztuczna skóra” .....	285
9.5.	Układy sensoryczne zmysłu wzroku .....	288
9.5.1.	Zadania układów wizyjnych .....	288
9.5.2.	Układy do identyfikacji położenia przedmiotów .....	288
9.5.3.	Układy wizyjne rozpoznające obrazy .....	290
9.6.	Układy sensoryczne w robotach mobilnych .....	298
9.6.1.	Czujniki ultradźwiękowe .....	298
9.6.2.	Interferometr laserowy .....	299
9.6.3.	Skanery laserowe .....	301
9.6.4.	Transponder .....	302
9.6.5.	Żyroskop .....	303
9.6.6.	Sensory obecności .....	303

---

## **10. Sztuczna inteligencja w robotyce** 305

---

10.1.	Wprowadzenie do systemów sztucznej inteligencji .....	305
10.2.	Struktura i funkcje inteligentnych robotów .....	307
10.3.	Sieci neuronowe w robotach adaptacyjnych II generacji .....	312
10.3.1.	Budowa sieci neuronowych .....	312
10.3.2.	Sterowanie ruchem robota .....	316
10.3.3.	Zastosowanie sieci neuronowych do rozpoznawania obrazów .....	317
10.4.	Sterowanie rozmyte robotów adaptacyjnych II generacji .....	320
10.4.1.	Wprowadzenie .....	320
10.4.2.	Podstawy sterowania rozmytego .....	321

10.4.3. Przykład sterowania według reguł rozmytych .....	323
10.5. Nawigacja inteligentnych robotów mobilnych III generacji .....	326
10.6. Perspektywy rozwoju robotów inteligentnych .....	329
10.6.1. Sztuczna inteligencja oparta na zachowaniach .....	329
10.6.2. Układy sterowania ruchem człowieka a układy sterowania robota .....	330
10.6.3. Perspektywy przyszłych badań .....	332

---

## **11. Bezpieczeństwo na zrobotyzowanych stanowiskach pracy** 334

---

11.1. Uwagi ogólne .....	334
11.1.1. Zagrożenia na zrobotyzowanych stanowiskach pracy .....	334
11.1.2. Przyczyny wypadków podczas pracy w systemach zrobotyzowanych .....	335
11.1.3. Ogólne zasady bezpiecznej integracji robota z systemem .....	336
11.2. Metody zabezpieczania systemów zrobotyzowanych .....	337
11.2.1. Podział systemów ochronnych .....	337
11.2.2. Zabezpieczenia sprzętowe poziomu pierwszego .....	338
11.2.3. Sposoby detekcji obecności człowieka .....	338
11.2.4. Analiza i ocena metod detekcji .....	340
11.2.5. Normy dotyczące bezdotykowych urządzeń ochronnych .....	341

---

## **12. Badanie dokładności robotów przemysłowych** 347

---

12.1. Definicje pojęć podstawowych .....	347
12.2. Dokładność pozycjonowania i powtarzalność pozycjonowania .....	351
12.2.1. Dokładność pozycjonowania ( <i>AP</i> ) .....	351
12.2.2. Powtarzalność pozycjonowania ( <i>RP</i> ) .....	353
12.2.3. Powtarzalność pozycjonowania osiągana z wielu punktów ( <i>vAP</i> ) .....	354
12.3. Badania dokładności robotów .....	356
12.3.1. Warunki prowadzenia badań .....	356
12.3.2. Techniki pomiarów podczas badania dokładności robotów .....	360

---

## **13. Zastosowania robotów przemysłowych** 363

---

13.1. Aspekty budowy zrobotyzowanych systemów wytwarzania .....	363
13.1.1. Wprowadzenie do projektowania zrobotyzowanych systemów wytwarzania ...	364
13.1.2. Najważniejsze cechy projektowania mechatronicznego .....	367
13.2. Robotyzacja stanowisk spawalniczych .....	369
13.2.1. Zrobotyzowane stanowiska spawania łukowego .....	369
13.2.2. Zrobotyzowane stanowiska spawania i cięcia laserowego oraz plazmowego ....	383
13.2.3. Zrobotyzowane stanowiska zgrzewania .....	386
13.3. Zrobotyzowane stanowiska obróbkowe .....	388
13.3.1. Obrabiarki samoobsługujące się .....	390
13.3.2. Autonomiczne stacje obróbki tokarskiej .....	392
13.3.3. Autonomiczne stacje obróbki frezarskiej .....	398

13.3.4. Roboty wykonujące samodzielnie operacje obróbkowe .....	403
13.4. Zrobotyzowana obsługa pras i kuźniarek .....	405
13.4.1. Robotyzacja podawania materiału do pras .....	405
13.4.2. Obsługa pras krawędziowych i giętarek .....	412
13.4.3. Charakterystyka procesu kucia z punktu widzenia jego robotyzacji .....	413
13.4.4. Korzyści z robotyzacji pras .....	414
13.5. Robotyzacja stanowisk montażowych .....	415
13.5.1. Podstawy robotyzacji prac montażowych .....	415
13.5.2. Konfiguracja zrobotyzowanych stanowisk montażowych .....	417
13.5.3. Roboty do zadań montażowych .....	420
13.5.4. Przykłady zrobotyzowanych stanowisk i systemów montażowych .....	422
13.6. Zrobotyzowane stanowiska manipulacji i paletyzacji .....	425
13.7. Robotyzacja procesów malowania .....	428
13.8. Zastosowanie robotów do badania jakości wyrobów .....	430

---

Literatura .....	432
------------------	-----

Skorowidz .....	443
-----------------	-----

---