

ZAGADNIENIA WSPÓŁCZESNEJ ROBOTYKI

Podano podstawowe pojęcia, zakres i podział robotyki. Przedstawiono problematykę robotyki teoretycznej (teorii robotów i manipulatorów) i robotyki przemysłowej. Omówiono aktualny stan badań i zastosowań robotyki w Polsce. Na zakończenie podano aktualny stan w zakresie kształcenia na kierunku studiów "Automatyka i Robotyka" w Polsce.

1. WSTĘP

Robotyka jest dziedziną nauki i techniki, która zajmuje się problemami mechaniki, sterowania, projektowania, pomiarów, zastosowań i eksploatacji manipulatorów i robotów.

Przedmiotem zainteresowania robotyki jest zastosowanie robotów w badaniach naukowych, szeroko pojętej technice, budownictwie, transporcie, rolnictwie, jak również w medycynie, badaniach podwodnych i w przestrzeni kosmicznej. Teoria i technika manipulatorów i robotów jest interdyscyplinarną dziedziną badań wymagającą współdziałania specjalistów różnych dyscyplin.

W ostatnich latach nastąpił szybki rozwój robotów przemysłowych, które znajdują szczególne zastosowanie w przemyśle maszynowym do prac spawalniczych, malarskich, montażowych oraz do obsługi pras i obróbek wykańczających, jak szlifowanie i polerowanie. Głównym ich celem jest podwyższenie jakości wykonywanych prac oraz uwolnienie operatora od ciężkiej fizycznej oraz monotonnej pracy, a szczególnie od prac niebezpiecznych dla zdrowia a nawet życia. Liczba produkowanych obecnie i instalowanych jednostek stale wzrasta. Wzrasta również poziom kompilacji tych maszyn, szczególnie w zakresie inteligencji maszynowej. Można wyróżnić następujące działy robotyki:

- robotykę teoretyczną (teorię robotów i manipulatorów),
- robotykę ogólną (metody, aspekty ekonomiczne, socjalne, społeczne, kształcenie, terminologia, rozwój i trendy przyszłościowe),
- robotykę metrologiczną (roboty do celów pomiarowych, inspekcyjnych, diagnostycznych, kontrolnych),
- robotykę maszyn lokomocyjnych (jedno-, dwu-, cztero-, sześćo- i wielonożnych, mieszanych kołowo-nożnych do realizacji funkcji chodu, biegu, skoku, pełzania po lądzie i w wodzie),
- robotykę medyczną i rehabilitacyjną (manipulatory i roboty do celów chirurgii, terapii, ortotyki, protetyki, rehabilitacji, układy człowiek-maszyna (system)),
- robotykę przemysłową (zastosowanie robotów i manipulatorów w przemyśle

elektromaszynowym, spożywczym, papierniczym, szklarskim, w chemii, energetyce, górnictwie i innych),

- robotykę pozaprzemysłową (zastosowanie robotów do prac podwodnych, w przestrzeni kosmicznej, na innych planetach, do prac naukowych, do celów wojskowych, walki z pożarami, katastrofami, w budownictwie oraz w rolnictwie, transporcie, usługach, administracji).

Należy podkreślić, że robotyka przemysłowa jest ściśle związana z rozwijającymi się obecnie elastycznymi systemami produkcyjnymi (FSM), zintegrowanymi systemami wytwarzania ze sterowaniem komputerowym (CIM) oraz bezludnymi fabrykami (AF).

Prognozy na najbliższe 30-50 lat przewidują, iż w związku z rozwojem techniki mikroprocesorowej (znaczny wzrost stopnia upakowania w mikroprocesorze — rzędu 1 mld elementów — pojawią się generacje bioprocessorów), procesorów mechanicznych (kilkadziesiąt tysięcy układów mechanicznych ulokowanych w niewielkiej kostce o boku 1 cala), nastąpi lawinowy rozwój nowych generacji "inteligentnych" robotów posiadających znacznie większe możliwości pracy w zmiennym otoczeniu niż obecne generacje robotów.

2. ROBOTYKA TEORETYCZNA

Zakres robotyki teoretycznej (teorii robotów i manipulatorów) obejmuje zagadnienia:

- mechaniki — struktura, kinematyka, dynamika manipulatorów i robotów oraz takie tematy jak pozycjonowanie, orientacja, omijanie przeszkód, drgania (ich eliminacja i inne);
- sterowanie ruchem — modelowanie, symulacja, różne rodzaje sterowania, szczególnie wg trajektorii;
- synteza i projektowanie — wybór racjonalnych struktur i konfiguracji manipulatorów, chwytaki, sztuczne ręce;
- sensoryka i inteligencja maszynowa — sensory do robotyki, szczególnie sensory wizji, dotyku, czucia, odległości i barwy, zagadnienia bazy wiedzy, systemów ekspertowych i inne;
- biomechaniczne aspekty ruchu — manipulacja, lokomocja owadów, kręgowców, człowieka;
- maszyny kroczące i roboty mobilne — maszyny skaczące, dwu-, cztero-, sześć-, ośmio- i wielonożne maszyny kroczące. Układy mieszane kołowo-nożne;
- zastosowania i ich efekty — wybrane zagadnienia elastycznej automatyzacji.

Szersze omówienie podanych wyżej działów robotyki teoretycznej można znaleźć w literaturze [3, 4, 6, 14, 15].

3. RYS HISTORYCZNY

Można wyróżnić cztery wymienione poniżej okresy w rozwoju robotyki [1].

3.1. Przedelektroniczny

Cofając się o całe stulecia można prześledzić na tym tle rozwój różnych mechanicznych zabawek (kuriozów), a mianowicie:

- chińska maszyna krocząca z czterema nogami (około 231 r.),
- golem — XVI-wieczny twór,
- Frankenstein — ożywiona XIX-wieczna konstrukcja,
- R.U.R. — uniwersalne roboty rozumu stworzone w opowiadaniach K. Čapka około 1921 roku,
- Robbie — robot Isaaca Asimova,
- Wojny gwiazdne — film.

Okres przedelektroniczny zakończył się około 1950 roku.

3.2. Początek — start

Jako początek współczesnego rozwoju robotyki przyjmuje się wczesne lata pięćdziesiąte — powstanie zdalnego systemu manipulacyjnego na potrzeby komisji energii atomowej, zrealizowanego przez General Motors. Robotyka przemysłowa w takiej postaci, jaka jest obecnie stosowana, rozpoczęła się od prac George du Valh i Joe Engelbergera, którzy zaproponowali pierwszy egzemplarz Unimate. Pojawił się on na rynku w 1957 roku. Jego główne zastosowanie to zdejmowanie części z maszyn odlewniczych. Ocenia się, że czas zwrotu nakładów inwestycyjnych w firmie Unimation trwał ponad 10 lat. W ślad za Unimation weszły na rynek takie firmy jak Cincinnati-Milacron, Autoplace, Prab i inne. Pierwszy robot przemysłowy pojawił się w Europie w 1968 roku.

Badania w dziedzinie robotyki rozpoczęły się w latach sześćdziesiątych, kiedy fundacja Darpa ufundowała laboratoria badawcze "sztucznej inteligencji" w MIT, Uniwersytecie Standforda i w Badawczym Instytucie Standfordzkim. Następnie, w końcu lat sześćdziesiątych i wczesnych siedemdziesiątych, NASA rozpoczęła finansowanie prac badawczych w zakresie robotyki w Jet Propulsion Laboratory (JPL) i Ames. Roboty przemysłowe stały się jednak opłacalne dopiero w końcu lat siedemdziesiątych, kiedy w firmie Automative Manufactures zaczęto stosować roboty do prac malarskich i zgrzewania punktowego.

3.3. Okres euforii

W okresie tym notujemy dalszy, szybki rozwój robotów przemysłowych. Następuje fuzja General Motors z Fanuc, w wyniku czego utworzona została firma GMT Automatic. Firma General Electric nawiązuje współpracę z wytwórcami robotów

z Japonii, Włoch i Niemiec. Na rynku pojawiają się takie firmy jak Westinhouse, IBM, Bendix. Ponad 500 firm w Europie, Japonii i Stanach rozpoczyna intensywne prace i produkcję robotów, co oznaczało rozpoczęcie nowej rewolucji przemysłowej z wielomiliardowym kapitałem, opartej na pracy robotów. Analitycy przewidywali 35-procentowy roczny wzrost środków robotyki w latach osiemdziesiątych. Do końca 1985 r. przewidywania te okazały się poprawne.

3.4. Okres otrzeźwienia

Przyjmuje się, że w 1986 roku zakończyła się fascynacja tą gałęzią techniki i nastąpiło otrzeźwienie. W latach 1986 i 1987 sprzedaż robotów spadła o 35%. W 1988 roku rynek utrzymywał się na tym samym poziomie. Postawiono sobie wówczas pytanie — co spowodowało tę sytuację? Przypuszcza się, że przyczyną pewnego rozczarowania był fakt, iż prawdziwe trudności, które nie ujawniły się na początku w stosowaniu robotów przemysłowych, wynikły z tego, iż tak proste zastosowania jak zgrzewanie punktowe i obsługa pras były ich pierwszymi zastosowaniami.

Analizując przyczyny spadku zainteresowania robotami, wysunięto przypuszczenie, że ta sytuacja była spowodowana wyborem zastosowań — zgrzewanie punktowe i obsługę pras uznano "na tyle prostymi aplikacjami, że spowodowały one ukrycie" różnych trudności technicznych, które wystąpiły przy próbach bardziej złożonych aplikacji. Tak więc natrafiono na barierę technologiczną w stosowaniu robotów.

Wydaje się również, że zbyt optymistyczne prognozy wzrostu opierały się na przyjęciu założenia, że uda się zrobotyzować proces montażu. Oceniono, że w 1988 roku około 50% prac związanych z montażem drobnych elementów będzie wykonywanych przez roboty. Należy przypuszczać, iż rozwój techniki układów wielosensorycznych w latach dziewięćdziesiątych umożliwi zastąpienie człowieka, zatrudnionego przy pracach montażowych, przez roboty o własnościach zbliżonych do ludzkich. Stąd ciągle uważa się, że istnieją przesłanki do wybuchu nowej rewolucji przemysłowej. W latach 1989, 1990 i 1991 obserwujemy znowu wzrost w tej dziedzinie.

4. ROBOTYKA PRZEMYSŁOWA

Współczesna robotyka przemysłowa zajmuje się zagadnieniami związanymi z zastosowaniem robotów i manipulatorów przemysłowych do robotyzacji takich procesów jak: odlewnictwo, spawalnictwo, lakiernictwo, pokrycia powierzchni, obsługa pras, montaż i wiele innych procesów, które wymagają dużego wysiłku fizycznego i są często szkodliwe, monotonne i niebezpieczne dla zdrowia obsługi.

Zastosowanie robotów przemysłowych w ostatnich latach daleko wykracza poza przemysł elektromaszynowy i wkracza do takich przemysłów jak: górnictwo, okrętownictwo, lotnictwo, rolnictwo, transport, budownictwo, łączność, chemia, leśnictwo. Szczególny rozwój robotów następuje w związku z badaniami, eksploatacją i eksploracją dna morza, na innych planetach i w przestrzeni kosmicznej.

Przyszłość robotyki przemysłowej to elastyczne systemy produkcyjne i bezludne fabryki.

4.1. Podstawowe określenia i podział robotów

Przyjmujemy określenie robota przemysłowego lub manipulacyjnego robota przemysłowego zgodnie z definicją ISO: "manipulacyjny robot przemysłowy jest automatycznie sterowaną programowaną, wielozadaniową maszyną manipulacyjną o wielu stopniach swobody, stacjonarną lub mobilną do różnych zastosowań przemysłowych" (ISO/TR 8373 3.3). Wyjaśnijmy znaczenie niektórych skrótów użytych w podanej definicji.

Programowana maszyna oznacza tutaj możliwość łatwego programowania (zmiany programów), ruchów lub funkcji bez zmiany struktury mechanicznej lub układu sterowania.

Wielozadaniowa maszyna oznacza, że może być ona adaptowana do różnych zastosowań drogą zmiany struktury mechanicznej lub układu sterowania.

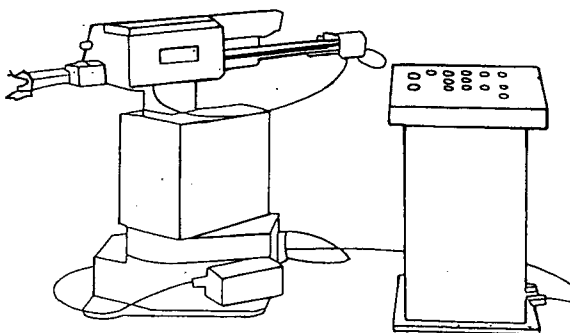
Wyróżnia się cztery podstawowe klasy robotów przemysłowych, a mianowicie:

1. Robot sekwencyjny (sequenced robot)

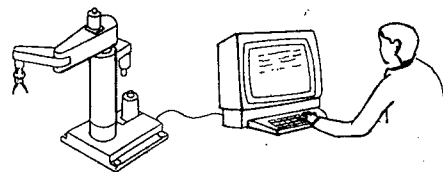
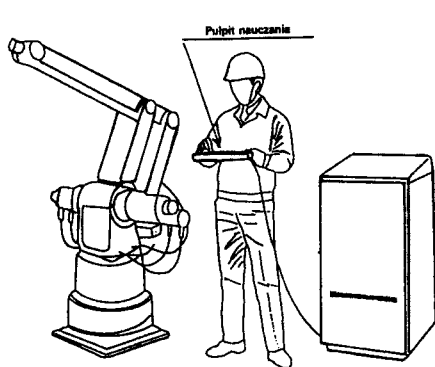
Jest to robot, który ma sekwencyjny układ sterowania (sequence control, ISO 28806 3.1.07). Typowym przykładem jest tutaj robot typu Non-servo PTP (rys. 1).

2. Robot realizujący zadaną trajektorię (trajectory operated robot).

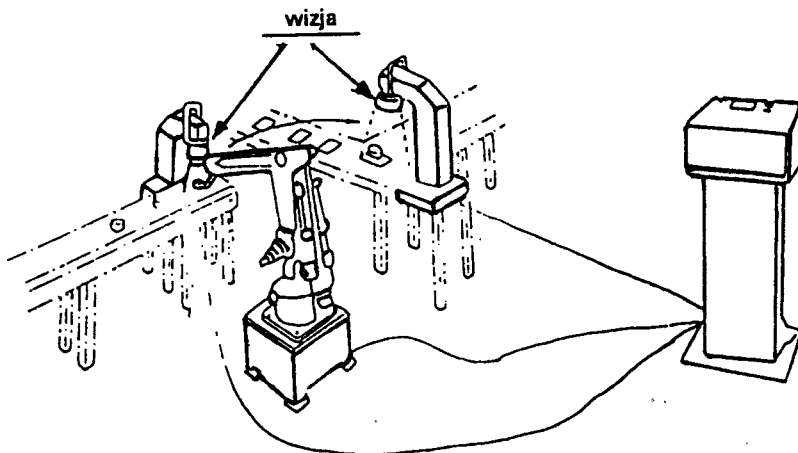
Jest to robot, który realizuje ustaloną procedurę sterowanych ruchów wg instrukcji, które specyfikują żądaną pozycję (zwykle uzyskiwaną przez interpolację) oraz żądaną prędkość w danym położeniu. Typowym przykładem jest tutaj robot typu playback, CNC lub inteligentny [ISO/TR 837 33.4] (rys. 2).



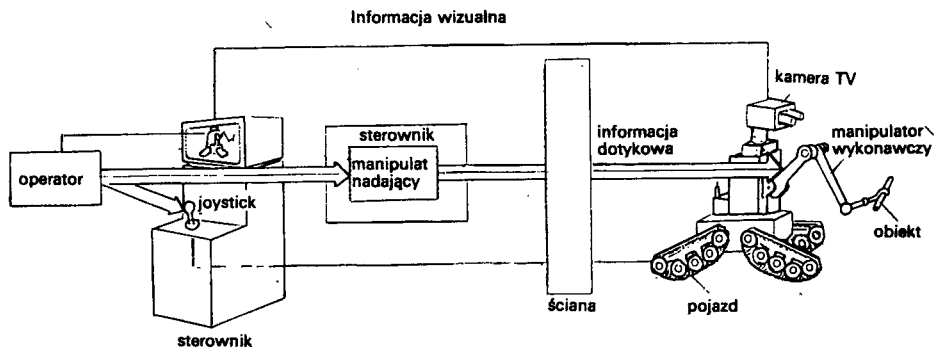
Rys. 1. Przykład robota sekwencyjnego



Rys. 2. Przykłady robotów realizujących zadaną trajektorię



Rys. 3. Przykład robota adaptacyjnego



Rys. 4. Przykład teleoperatora

3. Robot adaptacyjny (adaptive robot)

Jest to robot mający sensoryczny (ISO/TR 8373 6.3.3) lub adaptacyjny (ISO/TR 8373 6.3.4) układ sterowania, względnie uczący się układ sterowania (ISO/TR 8373 6.3.5). Przykładami takimi układów są układy o możliwościach zmiany właściwości drogą wykorzystania informacji sensorycznej lub nagromadzonych doświadczeń, planowania zadań lub przez nauczanie i trening (rys. 3). Typowym przykładem jest tutaj robot wyposażony w czujniki wizyjne, w którym jest możliwa korekta ruchu, podczas pobierania elementów, podczas montażu lub spawania lukowego.

4. Teleoperator (teleoperated robot)

Jest to robot ze sterowaniem zdalnym, realizowanym przez operatora lub komputer. Jego funkcje są związane z przenoszeniem na odległość funkcji motorycznych i sensorycznych operatora. Wylęcza się z tej klasy układy o połączeniach mechanicznych (rys. 4).

4.2. Obszary zastosowań i aplikacji robotów

Omówimy pokrótce możliwe obszary zastosowań robotów przemysłowych, ograniczając się tutaj do podstawowych przemysłów wytwórczych, ujętych w odpowiednie klasy.

KLASA	1	Węgiel i stal
PRZEMYSŁOWA	2	Metale nieżelazne
wg IFR	3	Produkty metalowe
	4	Budowa maszyn
	1'	Maszyny ogólnego przeznaczenia
	2'	Maszyny wyspecjalizowane
	5	Elektryczny / elektroniczny sprzęt i aparatura
	6	Instrumenty precyzyjne/optyczne
	7	Urządzenia transportowe
	3'	Budowa okrętów
	4'	Pojazdy szynowe
	5'	Pojazdy motorowe
	6'	Pojazdy lotnicze
	7'	Pojazdy rowerowe
	8'	Pojazdy motocyklowe
	9'	Pojazdy przemysłowe
	10'	Inne urządzenia transportowe
	8	Zywnościowy
	9	Tekstylny / odzieżowy / skórzany
	10	Drzewny / produkty z drewna
	11	Papierniczy / produkty z papieru / drukarski / wydawniczy
	12	Chemiczny / produkty chemiczne
	13	Rafineryjny / produkty rafinacji / produkty węglowe
	14	Gumowy / produkty gumowe
	15	Plastyki / wyroby z plastyku
	16	Ceramiczny / wyroby z kamienia
	17	Inne

Łącznie wyróżniono więc 17 klas oraz 10 podklas, które obejmują podstawowe przemysły wytwórcze, spotykane w krajach rozwiniętych. Poza omówioną klasą przemysłów wytwórczych można wyróżnić:

KLASA POZAPRZEMYSŁOWA wg IFR		Rolnictwo / leśnictwo / rybołówstwo
		Kopalnictwo
		Budownictwo
		Edukacja
		Badania i rozwój
		Inne

Wyróżnia się tutaj tylko 6 klas, nie uwzględniając zastosowań militarnych, zastosowania robotyki w badaniach kosmicznych (zaliczane ogólnie do lotnictwa); zastosowań do badań pod wodą nie zalicza się również do oddzielnej klasy.

Kolejno omówimy podstawowe zastosowania (aplikacje) robotów w przemysłach wytwórczych. Również i tutaj przyjmujemy podział na klasy, według podstawowych procesów przemysłowych.

KLASA wg IFR		Nie wyspecjalizowane
		Odlewnictwo
		1' Odlewnictwo stali i żelaza
		2' Odlewy
		3' Inne
		3 Kucie
		4 Obróbka plastyczna
		5 Obróbka cieplna
		6 Kucie matrycowe
		7 Spawanie
		4' Spawanie łukowe
		5' Zgrzewanie punktowe
		6' Spawanie gazowe
		7' Spawanie laserowe
		8' Inne
		8 Malowanie
		9 Obsługa maszyn
		9' Ładowanie / wyładowanie maszyn
		10' Cięcie mechaniczne
		11' Szlifowanie / gładzenie / pole- rowanie
		12' Inne
		10 Cięcie
		13' Cięcie laserowe
		14' Cięcie strumieniem wody
		15' Cięcie gazowe
		11 Montaż
		16' Mechaniczny / łączenie
		17' Skręcanie
		18' Przez umieszczanie/montowanie
		19' Składanie
		20' Lutowanie
		21' Łączenie / klejenie
		22' Inne
		12 Paletyzacja / pakowanie
		13 Pomiary / inspekcja / testowanie
		14 Przenoszenie materiałów
		15 Kształcenie / badanie
		16 Inne

Wyróżniono tutaj 16 klas i 22 podklasy.

Tabela 1

Liczba zainstalowanych robotów w wybranych krajach w latach 1981-1991

Członkowie IFR	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Australia	181	-	-	528	-	800	925	[1200]	1350	1490	1644
Austria	57	80	126	181	260	370	484	678	875	1181	1345 ¹⁾
Belgia	242	361	514	775	975	1035	1132	1231	1403	1603	-
Chiny-Taiwan	-	20	78	148	227	292	452	682	965	1293	1688
Czecho-słowacja	-	-	-	-	1702	2766	4052	5647	6774	7160	7211
Dania	51	62	76	114	164	210	277	349	410	489	-
Finlandia	35	72	109	180	247	336	423	545	671	825	955
Niemcy	2300	3500	4800	6600	8800	12400	14900	17700	22395	28240	34140
Francja	790	1385	1920	2750	4150	5270	4376	5658	7863	8551	9808
Węgry	-	-	-	-	-	-	-	89	137	-	[110]
Włochy	450	1000	1510	2600	4000	5000	6600	8300	9979	12500	14536
Japonia	21000	32000	47000	67000	93000	116000	143000	176059	219667	274210	324895
Holandia	-	-	120	139	305	451	585	723	892	1073	- ²⁾
Norwegia	-	150	200	250	323	396	431	473	493	527	555
Polska	-	-	-	-	-	380	410	471	506	532	630
Singapur	5	25	71	121	200	250	528	607 ³⁾	1389	[1389]	-
Hiszpania	-	-	433	525	688	859	1131	1382	1751	2197	2632
Szwecja	1125	1273	1452	1745	2046	2383	2750	3042	3463	3791	4099
Szwajcaria	-	73	110	191	290	382	475	783	-	1525	-
Wielka Brytania	713	1152	1753	2623	3208	3683	4303	5034	5908	6418	7165
USA	6000	7000	8000	13000	20000	25000	29000	33000	36977	41304	-
WPN (b. ZSRR)	-	-	-	-	34068	44071	53115	59218	62339	64204	-
Cypr	-	-	-	-	-	-	-	-	3	[3]	-

¹⁾ dane uściłone 1981-1990 ²⁾ dane uściłone 1984-1990 ³⁾ dane uściłone 1981-1988

Źródło: Międzynarodowa Federacja Robotyki 1992

Tabela 2
Liczba robotów przemysłowych na 10 tys. zatrudnionych w przemyśle wytwórczym (ISIC, Rev.2) w wybranych krajach
w latach 1981-1990

Kraj	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Australia (1988)	1.6			5.2			9.1	11.3	12.7	14.0
Austria (1988)	0.6	0.8	1.2	1.8	2.6	3.9	4.9	7.1	13.4	13.7
Belgia (1988)	2.9	4.6	6.6	10.1	12.9	14.0	15.4	17.0	19.4	22.7
Czecho-Słowacja								22.0	27.2	29.2
Cypr (1990)									0.6	0.6
Dania (1990)	1.4	1.7	2.1	3.0	4.0	5.1	7.1	8.9	10.5	12.7
Finlandia (1989)	0.7	1.4	2.1	3.5	5.2	7.3	9.1	12.1	15.2	18.7
Francja (1990)							9.8	12.9	16.0	19.3
Niemcy (1988)	3.2	5.0	7.2	9.9	13.1	18.1	21.7	25.9	32.7	41.3
Węgry (1989)			0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	1.1	1.2	1.2
Włochy (1988)	1.4	3.3	4.8	8.3	13.7	17.4	22.7	28.3	34.1	42.6
Japonia (1989)	19.9	30.5	44.1	62.4	85.4	106.0	131.3	161.3	200.4	250.1
Holandia (1990)			1.6	3.0	4.8	5.7	7.0	8.4	11.7	13.4
Norwegia (1989)		4.4	6.3	8.0	10.3	12.5	13.7	16.1	17.8	19.0
Polka (1989)						1.1	1.2	1.4	1.5	1.6
Singapur (1988)	0.2	0.9	2.6	4.4	7.9	10.1	19.1	18.7	44.9	49.2
Hiszpania (1987)			2.0	2.6	3.6	4.5	5.9	7.3	9.0	11.3
Szwecja (1988)	12.0	14.1	16.5	19.7	23.1	26.8	30.9	34.0	38.6	42.3
Szwajcaria (1989)		1.0	1.6	3.0	4.4	5.7	7.5	11.7	12.8	22.8
ZSRR (1990)							16.1	18.3	12.8	22.4
Wielka Brytania (1988)	1.2	2.1	3.4	5.2	6.4	7.5	8.8	10.1	11.8	12.8
USA (1988)	3.2	3.9	4.6	7.3	11.5	14.7	16.4	18.3	20.8	22.4

Źródło: ECE ITD databank i IFR

Rok podany w nawiasie oznacza rok uzyskania danych

Tabela 3

**Liczba wszystkich typów robotów pracujących wg trajektorii i robotów adaptacyjnych na 10 tys. zatrudnionych w przemyśle
wytwórczym (ISIC 3, Rer.2) w 1990 r. Kraje uszeregowano wg gęstości występowania robotów**

Kraj	Stan robotów w końcu 1990 r.	Liczba robotów na 10 tys. osób zatrudnionych w przemyśle wytwórczym (wszystkie typy robotów)	Udział robotów pracujących wg trajektorii i robotów adaptacyjnych	Liczba robotów pracujących wg trajektorii i robotów adaptacyjnych na 10 tys. zatrudnionych w przemyśle wytwórczym
Japonia	274.210	250.1	0.79	197.6
Szwecja	3.791	42.3	0.90	38.1
Niemcy	28.240	41.3	0.90	37.1
Włochy	12.500	42.6	0.86	36.7
Singapur	1.600	49.2	0.60	29.5
Szwajcaria	1.525	22.8	0.92	21.0
Belgia	1.838	22.7	0.90	20.4
USA	40.000	22.4	0.90	20.2
Finlandia	825	18.7	0.99	18.5
Francja	8.551	19.3	0.90	17.3
Norwegia	527	19.0	0.75	14.3
Austria	860	13.7	0.90	12.4
Holandia	1.031	13.4	0.90	12.0
Wielka Brytania	6.418	12.8	0.90	11.6
Dania	489	12.7	0.91	11.6
Australia	1.490	14.0	0.80	11.2
Hiszpania	2.197	11.3	0.90	10.2
Czecho-Słowacja	7.160	29.2	0.16	4.7
ZSRR	64.204	22.4	0.19	4.3
Polska	532	1.6	0.60	1.0
Węgry	140	1.2	0.50	0.6

Źródło: ECE ITD databank i IFR

Tabela 4

Przyrost liczby robotów przemysłowych w wybranych krajach w latach 1988-1991

Kraj	1988	1989	1990	1991
Australia	1,200	1,350	1,490	1,644 ^{b)}
Austria	678	875	1,181	1,345
Belgia	1,231	1,403	1,638	1,800 ^{c)}
CSFR	5,691	7,007	7,160	7,211
Cypr		3	3	3 ^{a), c)}
Dania	349	402	489	579
Finlandia	548	671	825	955
Francja	5,658	7,063	8,551	9,808
Niemcy	17,700	22,395	28,240	34,140
Węgry	131	137	140	140 ^{a), c)}
Włochy	8,300	10,000	12,500	14,700
Japonia	176,00	219,700	274,210	324,895
Holandia	634	888	1,031	1,250 ^{d)}
Nowa Zelandia			70	80 ^{a), c)}
Norwegia	473	493	527	555
Polska	471	506	532	630
Singapur	607	1,459	1,625	1,906
Hiszpania	1,420	1,752	2,224	1,632
Szwecja	3,042	3,463	3,791	4,099
Taiwan	682	965	1,293	1,688
ZSRR	59,218	62,339	64,204	65,000 ^{d)}
Wielka Brytania	5,034	5,908	6,416	7,165
USA	32,600	37,00	40,000	44,000
Ogółem	322,450	385,779	459,667	527,927

Źródło: UN/ECE, IFR i dane narodowych towarzystw robotyki

- a) dane z 1990 r. oszacowane przez sekretariat ECE
- b) około 100 jednostek nie jest używanych
- c) dane z 1991 r. oszacowane przez sekretariat ECE

Uwaga: Skrót CSFR dotyczy Czech i Słowacji

4.3. Stan robotyki przemysłowej [1979—1981]

W roku 1979 wartość sprzedaży robotów w USA wynosiła 45 mld USD wobec 15 mln USD w roku 1976. Obecny okres uważany jest za okres, w którym produkcja robotów przekształciła się w przemysł złożony z wielu producentów i odbiorców. W końcu 1983 r. w osiemnastu krajach ankietowanych przez Amerykański Instytut Robotyki, ogólna liczba robotów i manipulatorów wynosiła 57 424, a wyłączając proste manipulatory — 26934 jednostek. W pierwszym przypadku podział był następujący: Japonia — 38%, USA — 25%, Francja — 22%, inne — 25%. W drugim

Tabela 5

Oszacowana w roku 1991 gęstość robotów wyrażona w liczbie robotów na 10 tys. zatrudnionych w przemysłach wytwórczych w wybranych krajach.

Kraje uszeregowano wg gęstości występowania robotów operujących wg trajektorii i adaptacyjnych.

Kraj Najnowsze uzyskane dane	Rok	Ogólna liczba robotów	Gęstość występowania robotów	
			Wszystkie typy	Zaawans. roboty
Japonia	1989	324,895	296,4	237.1
Singapur	1988	1,906	58.6	46.3
Szwecja	1989	4,099	54.7	43.8
Włochy	1988	14,700	50.2	39.2
Niemcy	1990	34,140	48.0	38.4
Finlandia	1990	955	22.1	21.6
USA	1988	44,000	24.7	19.7
Belgia	1989	1,800	23.2	18.6
Szwajcaria	1990	1,700	20.2	18.6
Francja	1990	9,808	22.1	17.7
Austria	1988	1,345	21.5	17.2
Norwegia	1989	555	20.0	15.2
Dania	1989	579	14.8	13.9
Australia	1988	1,644	15.5	12.4
Holandia	1988	1,250	15.4	12.3
Wielka Brytania	1988	7,165	14.5	11.6
Hiszpania	1988	2,632	13.3	10.6
CSFR	1991	7,211	36.9	7.4
ZSRR	1990	65,000	22.7	4.3
Polska	1991	630	2.1	1.4
Węgry	1989	140	1.2	0.7
Nowa Zelandia		80		
Taiwan		1,688		
Cypr	1990	3		

Zródło: UN/ECE i IFR

Uwaga: Określona gęstość zaawansowanych robotów opiera się na danych dotyczących robotów operujących wg trajektorii i adaptacyjnych oraz na ogólnym przyroście liczby robotów.

Dla krajów, które nie nadesłały danych, zostały one oszacowane wg informacji dotyczących ogólnej liczby robotów.

przypadku, przy wyłączeniu prostych manipulatorów, w Japonii było 59% ogólnej liczby robotów, w USA — 20%, Szwecji — 3%, RFN — 6% i w innych krajach — 12%. Roboty stosowane do przenoszenia materiałów i montażu należały do najbardziej rozpowszechnionych. Spawalnictwo i odlewnictwo były kolejnym popularnym zastosowaniem. Roboty do prac malarskich i do obróbki wykończającej nie były wówczas tak powszechnie stosowane jak obecnie. Nadal przenoszenie materiałów

Tabela 6

**Zainstalowane w 1991 roku roboty podzielone wg głównych zastosowań
w wybranych krajach**

Rodzaj Zastosowania Kraj	Liczba jednostek					Razem
	Spawanie	Obsługa maszyn a)	Montaż	Obsługa Paletyz. b)	Inne zast.	
Australia	91	11	0	40	12	154
Belgia (1990)	169	22	0	5	39	235
CSFR	18	19	5	2	7	51
Finlandia	23	34	13	39	21	130
Francja	517	176	104	231	229	1,257
Niemcy	1,335	420	1,197	955	1,993	5,900
Włochy	186	958	273	67	552	2,036
Japonia	11,915	5,981	21,905	1,192	9,692	50,685
Holandia (1990)	93	9	6	19	13	140
Norwegia	10	12	1	3	2	28
Polska	77	9	5	0	7	98
Hiszpania	271	73	12	37	15	408
Szwecja	120	75	7	93	13	308
Taiwan	199	47	66	38	45	395
ZSRR (1990)	274	830	304	290	167	1,865
Wielka Brytania	414	57	7	47	222	747
USA	2,010	1,429	933	0	94	4,466

Źródło: UN/ECE i IFR

a) z uwzględnieniem obsługi maszyn i specjalnych operacji

b) z uwzględnieniem operacji obsługi przy paletyzacji/pakowaniu i przenoszeniu materiałów

i montaż pozostały najbardziej popularnymi zastosowaniami, następne dziedziny to: spawalnictwo i załadunek/rozładunek maszyn. Przeciętna cena robota wynosiła od 4-200 tysięcy dolarów USA. Liczbę robotów wyposażonych w układy wizyjne i sensory szacowano w tym czasie na 94 jednostki w Europie i 1470 jednostek w Japonii.

W 1983 r. blisko 245 firm w Japonii zajmowało się produkcją robotów. W końcu 1983 r. liczba robotów w 20 krajach wynosiła 68251 jednostek o łącznej wartości 2940 mln USD.

Ocenia się, że obecnie produkuje się około 500 typów robotów i manipulatorów przemysłowych wytwarzanych przez 350 firm, w tym 250 w Japonii, 50 w USA i 50

**Przyrost liczby robotów przemysłowych do 1991 w głównych działach przemysłu
w wybranych krajach**

Dział przemysłu Kraj	Metalowy	Maszynowy	Elektr.	Transport.	Inne	Razem
CSFR	854	2,996	383	898	2,080	7,211
Finlandia	340	89	83	96	347	955
Francja	106	1,520	674	5,129	2,379	9,808
Japonia	15,286	31,815	115,890	86,490	75,414	324,895
Norwegia	269	63	63	31	129	555
Polska	18	204	72	271	65	630
Singapur	103	125	1,329	41	308	1,906
Hiszpania		713	142	1,460	317	2,632
Szwecja	718	1,134	300	1,332	615	4,099
Taiwan	100	89	205	922	372	1,688
Wielka Brytania	640	506	575	2,865	2,579	7,165
Austria (1990)	224	155	129	95	258	860
Dania (1990)	275	30	31	29	124	489
Szwajcaria (1990)	38	72	111	25	1,279	1,525
ZSRR	0	17,258	29,219	13,259	4,468	64,204

Źródło: UN/ECE i IFR

w Europie. Do największych należą Kawasaki, Mitsubishi, Cincinnati-Milacron, ABB, Renault i inne.

Liczbę jednostek zainstalowanych w poszczególnych krajach w latach 1981-1991 przedstawiono w tabeli 1. W tabeli 2 pokazano liczbę robotów przemysłowych na 10 tys. zatrudnionych w przemysłach wytwórczych w latach 1981-1990. Tabela 3 pokazuje liczbę wszystkich typów robotów oraz oddzielnie robotów realizujących zadaną trajektorię i adaptacyjnych na 10 tys. zatrudnionych w przemyśle wytwórczym.

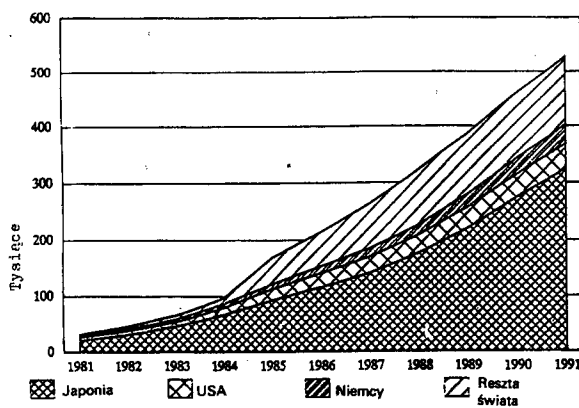
Jeżeli chodzi o sytuację w tym okresie w krajach Europy Wschodniej i Środkowej, to ocenia się, że w Polsce, NRD i Czechosłowacji było zainstalowanych w latach 70. po 300 jednostek, w Bułgarii 250, a w ZSRR około 6 tys. W 1986 roku liczby te wyglądały następująco: ZSRR — 40 tys., NRD — 8 tys., Czechosłowacja — 1100, Bułgaria — 2300.

4.4. Aktualny stan robotyki przemysłowej (1992)

Zakres robotyki przemysłowej omówimy na przykładzie 23 ISIR-u, Barcelona, 6-9.10.1992 r. Obejmuje on zagadnienia:

Kraj: Polska. Stan na koniec 1991 r.

Instalacje	Roboty przemysłowe. Rodzaje				Razem
	sekwencyjne	sterowane wg trajektorii	adaptacyjne	teleoperatory	
Produkcja krajowa	208	307	20	4	539
Import	—	76	5	—	81
Export	10	—	—	—	10
Instalacje krajowe (A+B+C)	218	383	25	4	630



Rys. 5. Wzrost liczby robotów na świecie (1981-1991)

- układów sensorycznych,
- robotów redundantnych,
- symulacji komputerowej (CAR),
- układów wizyjnych,
- montażu,
- sterowania adaptacyjnego,
- kinematyki i dynamiki,
- spawalnictwa,
- sterowania,
- robotów elastycznych,
- wizji typu 3-D,
- obróbkę wykańczających (gratowanie, polerowanie, szlifowanie),

- architektury robotów i siłowników,
- robotów mobilnych,
- zastosowań,
- chwytaków,
- wytwarzania,
- planowania zadań,
- organizacji,
- planowania ścieżki i omijania przeszkód.

Podamy obecnie kilka przykładów ilustrujących ww. problematykę.

W zakresie układów sensorycznych prowadzi się nadal prace nad konstrukcją sensorów do pomiaru sześciu składowych siły i momentu np. z wykorzystaniem techniki CCD.

W zakresie robotów redundantnych i omijania przeszkód notuje się różne prace związane z projektowaniem takiej konfiguracji robota, aby mógł on omijać różne przeszkody. Obserwuje się obecnie konstrukcje robotów, których manipulatory zawierają jeden lub większą liczbę członów podatnych. Podczas pracy powstają drgania, które należy wyeliminować przy dochodzeniu do położenia końcowego. Projektuje się w tym celu specjalne układy sterowania.

Notuje się próby wykorzystania sieci neuronowych w układach sterowania robotów, m.in. do kompensacji położeń.

Do obróbk wykańczających np. szlifowanie, gdzie występuje niepełna informacja o położeniu korzysta się z sensorów siły dołączonych do chwytaka robota.

Nowym zagadnieniem wydaje się demontaż. W tym celu projektuje się specjalne elastyczne gniazda robocze ze sterowaniem komputerowym, gdzie prowadzona jest analiza, demontaż i transport części rozbieranego układu (np. telefonu).

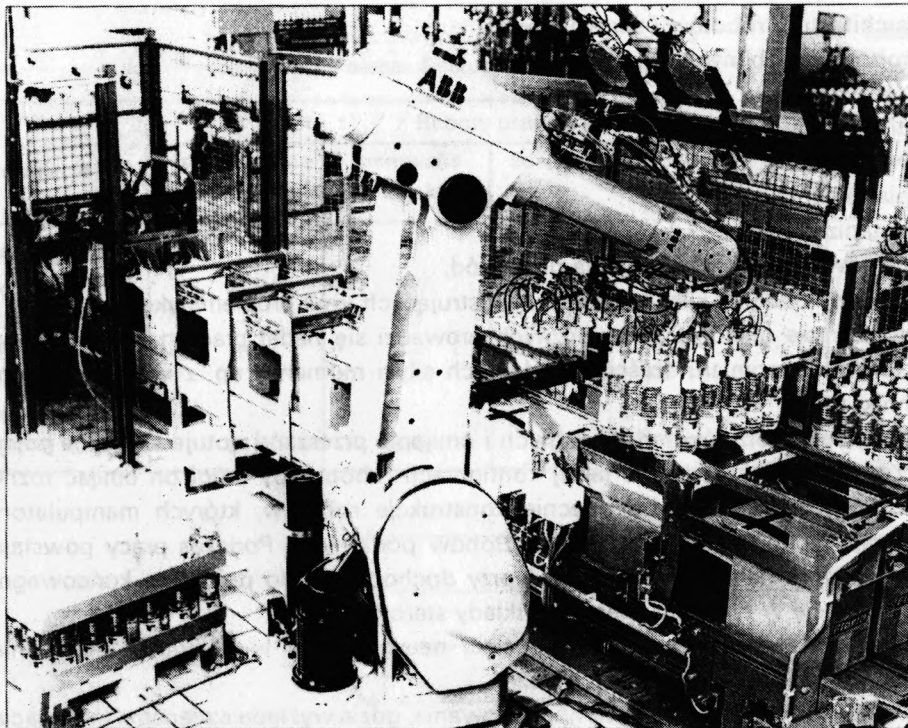
Nadal rozwijane są prace z zakresu mobilnych na kołach, gąsienicach, nogach a także układy mieszane, które poruszając się napotykać na ruchome przeszkody, które należy wyminąć [12].

Tabele 4 do 9 ilustrują stan robotyki przemysłowej na świecie. W tabeli 4 podano liczby robotów przemysłowych w wybranych krajach w latach 1988-1991. W końcu 1991 roku łączna liczba robotów w 24 krajach członkowskich Międzynarodowej Federacji Robotyki (IFR) osiągnęła liczbę 527925 jednostek. Polska ulokowana jest na 19 miejscu z ogólną liczbą jednostek 630.

W tabeli 5 podano liczbę robotów przypadających na 10 tys. zatrudnionych w przemyśle wytwórczym w 24 krajach IFR-u, określoną w latach 1989-1991. Przyjęto tu podział robotów na dwie klasy, a mianowicie roboty zaawansowane i wszystkie.

Tabela 6 ilustruje podział robotów wg głównych zastosowań w 17 wybranych krajach w roku 1990 i 1991.

W tabeli 7 podano przyrost liczby robotów przemysłowych w końcu 1991 roku w głównych działach przemysłu w 15 wybranych krajach. Nadal dominują przemysły: metalowy, maszynowy, elektryczny i transport. Wyróżnia się tutaj wyraźnie przemysł elektryczny [2,5].



Rys. 6. Przykład zastosowania robota ABB do pakowania butelek

Na rys. 5 podano przyrost liczby robotów przemysłowych na świecie w ostatnich dziesięciu latach (1981-1991). Przyjęto tutaj podział na trzy wybrane kraje: Japonię, USA i Niemcy oraz resztę świata. Rysunek 6 ilustruje jedno z ostatnich zastosowań robota firmy ABB [11].

5. KSZTAŁCENIE NA KIERUNKU AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Kierunek studiów został powołany w 1927 roku i jest obecnie prowadzony w 9 krajowych politechnikach. W tym punkcie krótko opisano główne rezultaty uzyskane w ostatnich 5 latach [4].

Kształcenie jest prowadzone na pięciu specjalnościach i obejmuje:

- automatykę,
- robotykę,
- automatyzację i robotyzację procesów przemysłowych,
- elastyczne systemy produkcyjne,
- przemysłowe systemy pomiarowe.

W początkowym okresie struktura planu studiów była następująca: ogólna liczba godzin 4200+600 (praca dyplomowa) liczba tyg. w semestrze 15, liczba godzin tyg. 26-30, liczba egzaminów 30.

Podział godzin był następujący: ogólne dyscypliny 30%, podstawowe techniczne 35%, specjalnościowe 20%, inne 15%. Zestaw przedmiotów obieralnych zależał od wydziału. Minimalną liczbę godzin podstawowych dyscyplin ustalono w granicach 1065. Każdy wydział we własnym zakresie ustalał pozostałe 630 godzin.

Opiszemy pokrótce zagadnienia podziału godzin. Do grupy ogólnych dyscyplin należą: ekonomia, filozofia, języki obce, matematyka, fizyka — łącznie około 900 godzin. Do grupy podstawowych dyscyplin technicznych należą: wprowadzenie do automatyki i robotyki, informatyka, mechanika, elektromechanika z napędami elektrycznymi, elektronika z techniką mikroprocesorową, teoria sterowania, robotyka, podstawy konstrukcji, materiałoznawstwo, zautomatyzowane techniki wytwarzania. Wybór listy tych dyscyplin zależy od wydziału i jest różny dla grupy wydziałów mechanicznych, elektroniki i elektrycznych.

Do grupy przedmiotów specjalnych należy zestaw dyscyplin związanych z przyszłą specjalizacją. Liczba godzin wynosi około 800, w tym połowę stanowią przedmioty obieralne. Ostatnia grupa jest związana z seminarium magisterskim (około 60 godz.) i pracą magisterską około 600 godzin. Podamy kilka przykładów kierunków dyplomowania:

- mechanika manipulatorów i robotów,
- projektowanie manipulatorów i robotów,
- sterowanie manipulatorów i robotów,
- napędy, sensory, inteligencja maszynowa.

W tabeli 9 podano listę politechnik w Polsce prowadzących ten kierunek studiów w latach 1988/89, 1989/90 i 1990/91.

Tabela 9

Politechnika	Specjalności				
	Robotyka	Automatyka	Zautomatyz. i zrobotyz. procesy produk.	ESP	Przemysłowe systemy pomiarowe
AGH Kraków	x	x			
Białostocka					
Gdańska			x	x	
Krakowska	x				
Łódzka		x			
Poznańska		x			
Śląska	x	x			
Warszawska	x	x	x	x	x
Wrocławska	x	x			

Według szacunków w 1990 roku na 14 wydziałach (8 mechanicznych, 4 elektronicznych i 2 elektrycznych) studiowało około 800 studentów (415 na I roku, 250 na II i 125 na III roku). W roku akademickim 1990/91 przyjęto wg moich szacunków, 350-380 studentów. Obecnie liczba ta wynosi około 1200. W 1992 roku odbyły się pierwsze obrony prac magisterskich. W ostatnim roku prowadzone są prace w zakresie nowego planu studiów, który zakłada znacznie mniejszą liczbę godzin (3000-3200) i stąd wynika potrzeba odpowiednich zmian w programach. Na ogół przyjmuje się wspólny pierwszy rok studiów, a od III sem. silnie zindywidualizowane plany studiów. Wydaje się, że nadal robotyka i automatyka cieszy się u studentów dużym powodzeniem.

6. STAN ROBOTYKI PRZEMYSŁOWEJ W POLSCE

Omówimy stan robotyki przemysłowej w Polsce na przykładzie Centralnego Programu Badawczo-Rozwojowego CPBR 7.1. "Roboty przemysłowe", prowadzonego w latach 1986-1990 i koordynowanego przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP w Warszawie [7,13]. W programie uczestniczyło ponad 100 zespołów z instytutów przemysłowych i uczelnianych oraz około 500 pracowników naukowych i technicznych. Problematyka badań była szeroka i obejmowała zagadnienia: projektowania, analizy, sterowania, sensoryki i zastosowań robotów przemysłowych w przemyśle polskim.

Przed podjęciem badań przeprowadzono odpowiednie studia w zakresie:

- aktualnego stanu krajowej produkcji środków robotyki przemysłowej i zastosowań robotów i manipulatorów w polskim przemyśle,
- głównych trendów badawczych i stosowanych w zakresie robotyki przemysłowej na świecie,
- potrzeb gospodarczych w zakresie robotyzacji i automatyzacji w Polsce.

W studiach tych brano również pod uwagę aktualne możliwości realizacji takiego programu, tzn. aktualnego stanu badań, kondycji przemysłowej i możliwości ekonomicznych.

W wyniku tych studiów przyjęto do realizacji trzy podstawowe grupy zagadnień, a mianowicie:

a) cele wdrożeniowe;

- rozwój robotyzacji procesów przemysłowych,
- modernizacja aktualnie stosowanych robotów i manipulatorów,
- nowe podzespoły do robotów przemysłowych,
- nowe typy robotów

b) cele poznawcze:

- rozwój teorii sterowania,
- rozwój w zakresie programowania i modelowania robotów i manipulatorów

przemysłowych,

- rozwój narzędzi przydatnych do modelowania i optymalizacji,
- wizja i systemy akustyczne zorientowane na gromadzenie danych.

c) cele przyszłościowe to:

- prace badawcze dotyczące nowych podzespołów i zespołów,
- prace badawcze dotyczące nowych typów robotów.

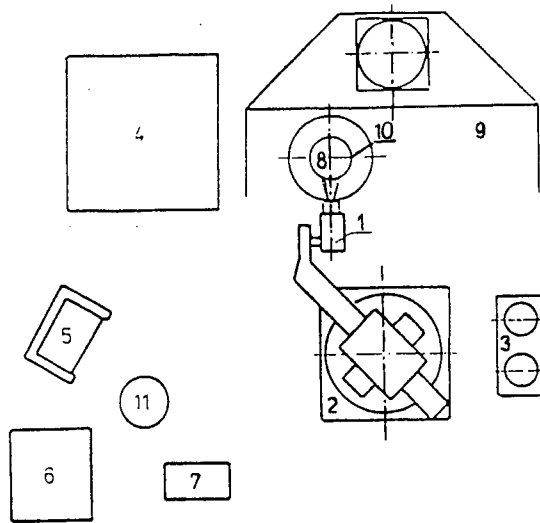
Omówimy pokrótce główne wyniki uzyskane w latach 1986-1990. Należy podkreślić, że w czasie realizacji programu zmieniły się w istotny sposób warunki ekonomiczne. Niezależnie od tych zmian podstawowe cele programu zostały jednak zrealizowane. W zakresie rozwoju zrobotyzowanych procesów produkcyjnych założono opracowanie robotyzacji następujących procesów technologicznych:

- natryskiwanie plazmowego,
- montażu i testowania drobnych elementów mechanicznych i elektromechanicznych,
- wykonywanie elementów z proszków żelaza,
- nanoszenie pokryć lakierniczych,
- polerowanie,
- walcowanie wałków na walcarkach WPM,
- regeneracja części metodą napawania,
- spawania grubych płyt z zastosowaniem spawarki z chłodzeniem wodnym,
- spawanie bardzo złożonych zespołów,
- linii pras średnich ze sterowaniem nadrzędnym,
- znakowanie blach w procesie walcowania na gorąco,
- transport i magazynowanie części w zrobotyzowanych układach obróbki skrawaniem.

Wymienione wyżej procesy technologiczne zostały wdrożone w przemyśle przy wykorzystaniu polskich robotów.

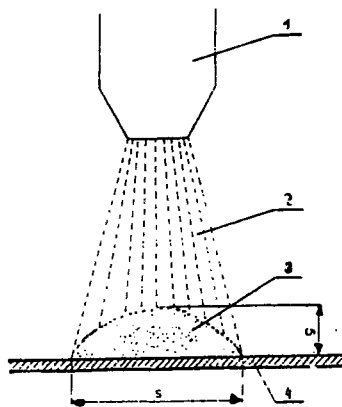
W zakresie projektowania i opracowania nowych zespołów i układów sterowania założono opracowanie:

- serwonapędów z silnikami indukcyjnymi,
- przekładni falowych (zbadane w ABB w Szwecji),
- układów sterowania do robotów JRp-6 (MERA-ZAP),
- układy sterowania do manipulatorów PR-02 (sterowniki uniwersalne MERA-PIAP),
- systemy zabezpieczeń do zrobotyzowanych stacji, gniazd i linii,
- układu wizyjnego do korekcji trajektorii palnika (zastosowany w procesie adaptacyjnego spawania łukowego (Politechnika Warszawska),
- łożysk Keydona do robotów przemysłowych,
- sterownika dla grupy robotów i gniazda FMS,
- toru jezdnego dla robotów JRp-6,
- urządzeń automatycznej wymiany chwytaków i narzędzi do robotów IRp-6 i JRp-60,



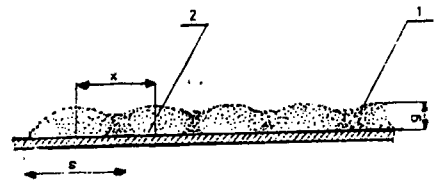
Widok stacji

1. Plazmotron
2. Robot
3. Zasobnik proszku
4. Zasilanie plazmotronu
5. Konsola plazmotronu
6. Układ sterowania robota
7. Kontrola zasobnika proszku
8. Element natryskiwany
9. Kabina
10. Urządzenie obrotowe
11. Pozycja operacyjna



Powierzchnia natryskiwana

1. Plazmotron
2. Strumień plazmy z proszkiem
3. Powierzchnia
4. Baza



1. Pokrycie po natryskiwaniu
2. Baza

Rys. 7. Zrobotyzowany proces natryskiwania plazmowego

- urządzeń do testowania i diagnostyki układów sterowania robotów JRp.

Zespoły te zostały opracowane, wykonane i wstępnie przebadane.

W zakresie nowych robotów i manipulatorów przemysłowych przewidziano opracowanie:

- modułowego robota typu PR-02 z napędami elektrycznymi,
- manipulatora o udźwigu 60 kg do współpracy z maszynami typu NS do produkcji części typu wałów i tarcz,
- robota typu RIMP-901 do malowania i pokryć lakierem,
- robota o udźwigu 120 kg z napędem elektrycznym,
- robota o udźwigu 2,5 kg z napędem elektrycznym,
- telemanipulatora o udźwigu 800 kg z napędem hydraulicznym.

Prototypy robotów zostały wykonane i przebadane.

W zakresie zagadnień naukowych i technologicznych założono opracowanie:

- skomputeryzowanej/zautomatyzowanej stacji do badania robotów przemysłowych,
- metody projektowania robotów podwodnych (do prac przy kadłubie statków),
- nowych silowników elektrycznych do robotów przemysłowych (np. silniki z komutacją elektroniczną, silnik napędu bezpośredniego, silniki wielosiowe, sterowniki cyfrowe),
- metod projektowania i testowania robotów z ramieniem elastycznym,
- metody modelowania i optymalizacji mechanicznych podzespołów robotów przemysłowych,
- metody do oceny niezawodności i trwałości robotów i serwonapędów elektrohydraulicznych,
- metody do identyfikacji zakłóceń i określenia wymagań kompatybilności elektromagnetycznej dla zasilania robotów przemysłowych.

Zamierzenia te zostały zrealizowane.

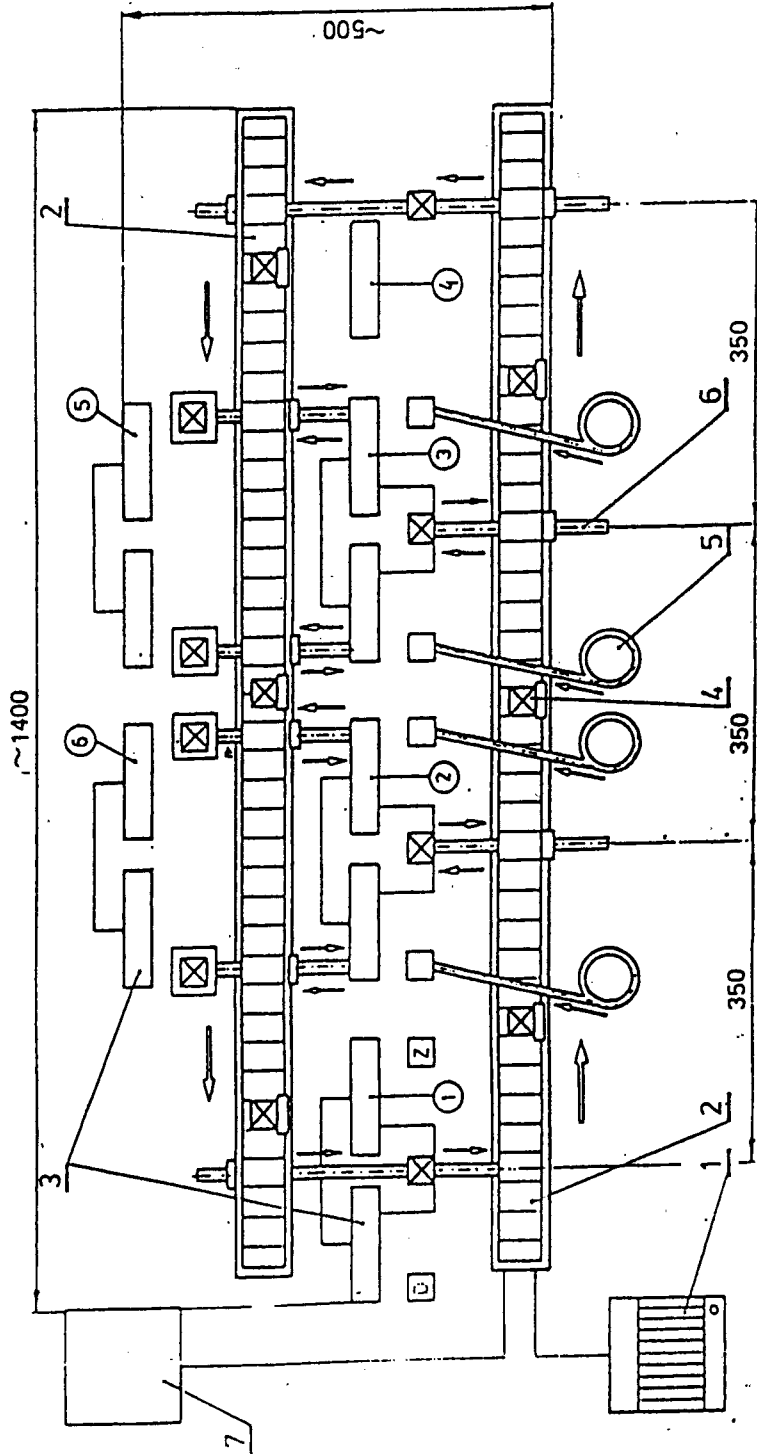
W trakcie realizacji programu opatentowano 115 rozwiązań. Ponad 100 prac zostało ogłoszonych w kraju i za granicą oraz prezentowanych na konferencjach. Niektóre rezultaty badań posłużyły do realizacji prac doktorskich i habilitacyjnych.

Przytoczymy obecnie trzy przykłady.

1. Robotyzacja procesu natryskiwania plazmą przy wykorzystaniu robota IRb-60. Celem tego tematu było przygotowanie stacji do natryskiwania plazmą, zmniejszenie czasu operacji i podwyższenie jakości pokrycia. Na początku zbadano możliwości współpracy robota IRb-60 z plazmotronem PN-120. Na rys. 7 pokazano konfigurację stanowiska. Składa się ono z:

- robota IRb-60 z chwytakiem przystosowanym do udźwigu plazmotronu,
- plazmotronu PN-120R do natryskiwania plazmą,
- urządzenia do pozycjonowania pokrywanego elementu,
- dodatkowych urządzeń, jak wentylatora chłodnicy, sprężarki i innych.

Jedną z podstawowych kwestii było zbadanie stopnia zakłóceń pracy robota przez plazmotron. Podczas badań nie stwierdzono zakłóceń pracy robota. Podczas badań



1. Układ sterowania
2. Moduł transportowy
3. Moduł montażowy i testujący
4. Paleta montażowa
5. transporter wibracyjny
6. Paleta układu pozycjonowania i przenoszenia
7. Układ mocy

Rys. 8. Zrobotyzowana linia montażowa. Widok ogólny

laboratoryjnych wykorzystano obiekty typu płaskiego, cylindrycznego i stożkowego. Doświadczenia przeprowadzono w Instytucie Energii Atomowej. Następnie natryskiwanie plazmowe zastosowano w warunkach przemysłowych do pokryć cylindrów drukowanych, wirnika kompresora silnika lotniczego, matrycy prasy 150 mm i tarczy wykonanej z aluminium.

W rezultacie zastosowania zrobotyzowanej stacji do natryskiwania plazmowego uzyskano:

- eliminację udziału człowieka w szkodliwych warunkach pracy, takich jak: promieniowanie ultrafioletowe, zanieczyszczenia i hałas,
- wzrost jakości pokrycia wskutek większej dokładności i powtarzalności operowania plazmotronem,
- wzrost wydajności i zmniejszenie czasu operacji - przeciętnie o 60%.

Opracowana metoda natryskiwania plazmowego może być wykorzystana również do regeneracji części, zabezpieczenia przed korozją, tworzenia termicznej i elektrycznej izolacji, utwardzania powierzchni.

2. Zrobotyzowana modułowa linia montażowa

Celem postępowania było tutaj zaprojektowanie i wdrożenie do produkcji lub testowania linii drobnych mechanicznych i elektromechanicznych elementów.

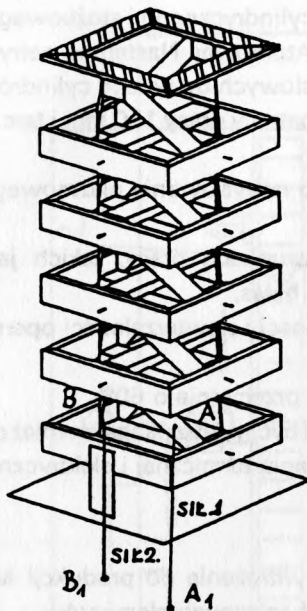
Linia składała się z poszczególnych modułów zaprojektowanych do celów: ładowania/rozładowania, pozycjonowania, orientacji, separacji, chwytania, manipulacji i przenoszenia elementów do montażu, testowania i selekcji parametrów produktu finalnego lub półproduktu.

Wykorzystano tutaj części manipulacyjne robota PR-02 oraz polski sterownik. Linia składa się z transportu liniowego, modułów montażu/testowania, ładowania/rozładowania, palet podających i układu sterowania. Podstawowe parametry linii są następujące: wymiary palet — 60x60 mm, prędkość — transportera 12 m/min, długość linii — 2 m, zakresy ruchu: x — 50-80 mm, y — 30-50 mm, z — 15-35 mm siły podczas montażu: x — 150 N, y — 50 N, z — 40 N, dokładność pozycjonowania +0,02 mm. Masa elementu do 200 g, a liczba elementów montowanych nie powinna przekraczać 10. Wydajność linii około 10⁶ zespołów/rok. Konstrukcja linii umożliwi ręczny lub automatyczny proces montażu. Niezależność operacji każdej stacji umożliwi ruch palety bezpośrednio do założonej w programie stacji.

Operacje pozycjonowania i przemieszczenia są wykonywane automatycznie. Produkt jest testowany zgodnie z wymaganiami technicznymi. Linia może być łatwo przystosowana do innego produktu finalnego. Schemat linii pokazano na rys. 8.

3. Model robota z elastycznym ramieniem

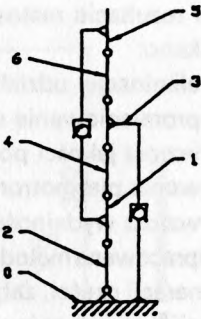
Elastyczne ramię umożliwia ruch w przestrzeni z przeszkodami przez odpowiednie zmiany kształtu. Struktura ramienia może być typu trąby słonia lub kręgosłupa [8]. Strukturę manipulatora pokazano na rys. 9. Rys. 9a przedstawia widok ogólny elastycznego ramienia, a rys. 9b i c schemat strukturalny. W tym rozwiązaniu wykorzystano połączenia z drugiej i piątej klasy. Łańcuch pokazany na rys. 9b i c zawiera sześć członów ruchomych ($u=6$), sześć par klasy piątej ($p_5=6$) i dwie pary



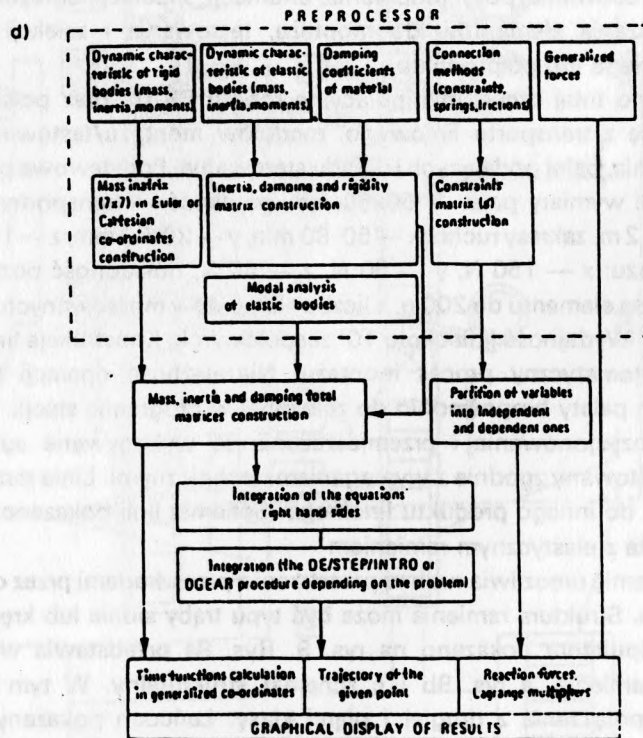
a)

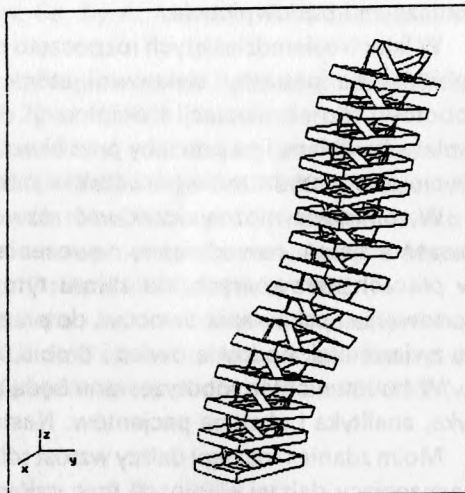
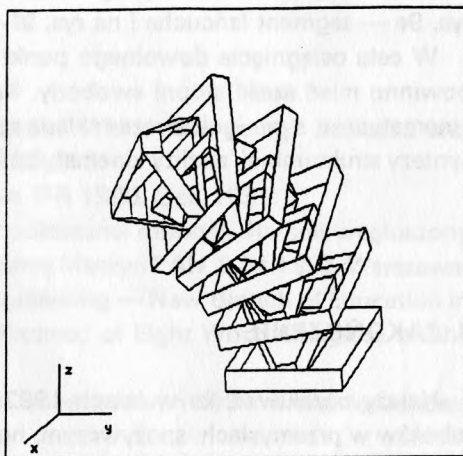
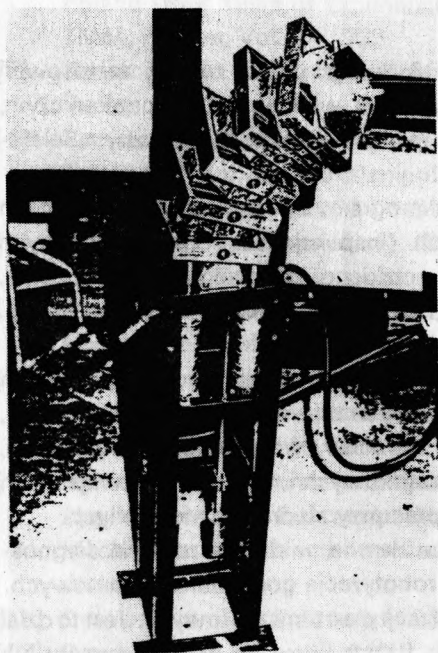


b)



c)





Rys. 9. Ramię elastyczne i jego animacja

klasy drugiej ($p_2=2$). Stąd otrzymujemy .

$$w = 6n - 5p_5 - 2p_2 = 2$$

Ruchliwość segmentu wynosi zawsze 2.

Na rys. 9d przedstawiono program do obliczeń dynamicznych takiego łańcucha, na rys. 9e — segment łańcucha i na rys. 9f — animację jednego i trzech segmentów.

W celu osiągnięcia dowolnego punktu w przestrzeni roboczej ramię elastyczne powinno mieć sześć stopni swobody. Każdy segment stanowi zamknięty łańcuch kinematyczny, a ramię elastyczne składa się z zespołu segmentów. Opracowano teorię syntezy strukturalnej, analizy kinematycznej i dynamicznej takich manipulatorów [8].

7. ZAKOŃCZENIE

Należy oczekiwać, że w latach 1992-2000 nastąpi dalszy rozwój zastosowań robotów w przemysłach: spożywczych, hodowlanych, włókienniczym, papierniczym, chemicznym, gumowym, ceramicznym, mechaniki precyzyjnej, elektrycznym i elektrycznym i budownictwie.

W latach osiemdziesiątych rozpoczęto duże programy związane z wykorzystaniem robotów na potrzeby elektrowni atomowych (inspekcja za pomocą mobilnych robotów), do eksploatacji i eksploracji dna morskiego, zapobiegania katastrofom, walki z żywiołami i na potrzeby prac biurowo-administracyjnych i sfery usług, jak np. mycie okien, czyszczenie posadzek w metro.

W rolnictwie można oczekiwać rozwoju zastosowań robotyzacji w procesach suszenia ziarna, nawodnienia, nawożenia, w zwalczaniu chwastów i szkodników, w pracach uprawowych, do zbioru tytoniu, owoców, warzyw, obcinania gałęzi, sortowania i pakowania owoców, do prac porządkowych i nadzorczych związanych ze zwierzętami, hodowlą owiec i drobiu, do prac przy zbiorach zbóż i innych.

W budownictwie robotyzowane będą prace ziemne, w służbie zdrowia diagnostyka, analityka i obsługa pacjentów. Nastąpi robotyzacja gospodarstw domowych.

Moim zdaniem nastąpi dalszy wzrost robotyzacji prac transportowych. Jest to dział wymagający dalszej eliminacji prac człowieka i zastąpienia go przez automaty lub roboty. Dotyczy to prac na kolei, w transporcie morskim, lotniczym, samochodowym, w regulacji ruchu ulicznego itp.

W moim przekonaniu nadal będzie się rozszerzać kształcenie specjalistów na różnych poziomach: średnim, wyższym, studiach podyplomowych, kursach technicznych i specjalizacyjnych.

W celu kompleksowego rozwiązywania tych spraw należy oczekiwać dalszego rozwoju takich dyscyplin jak informatyka, mikroelektronika i mechatronika. Umożliwi

to powstanie nowych generacji "inteligentnych" robotów. Rozwój mikroelektroniki umożliwi rozwój nowej klasy tzw. mikrorobotów, a w przyszłości nanorobotów. Pierwsze prace w tej dziedzinie już się rozpoczęły.

LITERATURA

- [1] Albus J.S.: Robotics where has it been? Where it is going? Robotics and Autonomous systems. 1990 nr 6 s. 199-219.
- [2] Industrial Robot Statistics. Stockholm IFR 1990. Oct. 1991.
- [3] Morecki A.: Wybrane zagadnienia współczesnej robotyki. Referat wygłoszony na plenarnym Zebraniu Komitetu Budowy Maszyn PAN, 8.04.1992, Warszawa.
- [4] Morecki A.: Robotics and Control Engineering — New Branch of Education in Poland (four Years of Experience). Proceed of Eight World Congress on the TMM, Prague, Vol. 2 s. 725.
- [5] Karlsson J.M.: A decade of Robotics. Geneva March 1991. Mekanforbundats Forlag.
- [6] Ro.man.Sy 8. Proceed. of the Eight CISM-IFTOMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators, Ed. by A. Morecki, G. Bianchi and K. Jaworek. Warszawa 1992 ZGPW.
- [7] Morecki A., Kaczanowski S.: Central Programme of Applied Investigations — Industrial Robots. Proceed. of the 22nd ISIR'91. Detroit Oct. 91.
- [8] Morecki A., Buśko Z., Frączek J., Kamiński A.: Modelling and Synthesis of Elastic Manipulators. Proceed. of the 20th ISIR, Tokyo Oct. 1989 JIRA, Japan.
- [9] Morecki A.: Wybrane zagadnienia współczesnej robotyki. Sympozjum naukowe "Komputerowo wspomagane sterowanie procesami przemysłowymi. Materiały z Czarlina, 17-19.09.1992. Wyd. Politechniki Gdańskiej 1992.
- [10] Morecki A.: Contemporary State of the Art in Robotics. Investigations, Applications and Education. The XIII th Polish Conference on Theory of Machines and Mechanisms. Materiały konferencji, Mielno 18-21.09.1992 (w druku).
- [11] Dyra Information, February 1993 nr 1.
- [12] Proceedings of the 23rd ISIR. Barcelona 6-9 Oct. 1992.
- [13] Robotics Research and Applications (Selected topics presented at the 1st, 2nd and 3rd Polish National Conferences on Robotics) Ed. by A. Morecki, W. Muszyński and K. Tchoń. Warszawa 1992 WNT
- [14] Archiwum Budowy Maszyn. Vol. XXXIX Warszawa 1992 nr 1-2. Wiedza i Życie (Zbiór prac poświęconych robotyce).
- [15] Podstawy robotyki (teoria, elementy manipulatorów). Pod red. A. Moreckiego i J. Knapczyka. Warszawa 1993 WNT (w druku).