

Jerzy Granicki, Andrzej Kowalaki  
Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie

PROBLEMATYKA TECHNICZNO-EKONOMICZNA ZASTOSOWAŃ ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH  
/KOMUNIKAT/

Streszczenie. W artykule przedstawiono przykłady aplikacji robotów w polskich zakładach przemysłu maszynowego, dla których przeprowadzono ocenę efektywności zastosowań. Omówiono również metodykę aplikacji robotów i typy robotów przemysłowych produkowanych przez Instytut Mechaniki Precyzyjnej.

1. Wstęp.

Roboty przemysłowe uważane są za ostatnie ogniwo automatyzacji cząstkowej, stosowane w dyskretnych procesach produkcyjnych zastępują pracę ludzką w głównych oraz pomocniczych czynnościach technologicznych. W odróżnieniu od tradycyjnych metod automatyzacji mają one szereg zalet, jak: łatwość sterowania członami wykonawczymi, zmienność parametrów kinematycznych, szybkość zmian programu oraz oprzyrządowania technologicznego, wysoką elastyczność zmian czynności technologicznych wynikającą ze zmiany produkowanego asortymentu [1, 2].

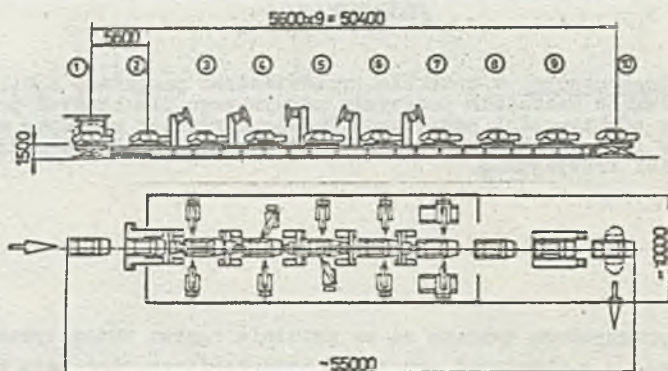
2. Przykłady zastosowań robotów.

Ocena efektywności zastosowań robotów przemysłowych przeprowadzona została na podstawie trzech przykładów aplikacji ich w krajowym przemyśle: w FSO Warszawa, gdzie zbudowano linię technologiczną do zgrzewania wyposażoną w 15 sztuk robotów firmy Unimation; w Olkuskiej Fabryce Naczyni Emaliowanych, w której zainstalowano 6 sztuk robotów firmy Trallfa typu R-2000 wykorzystanych do emaliowania natryskowego wanien i zlewozmywaków oraz w Zakładach Lamp Elektronowych UNITRA-LAMINA w Warszawie, gdzie opracowano zagospodarowanie gniazda technologicznego spęczniania wałków z wykorzystaniem robota typu RIMP-401.

Zgrzewanie punktowe. Rozmieszczenie robotów przemysłowych w linii kompletowania nadwozi przedstawiono na rys. 1. Linia zbudowana jest z 10 stanowisk sterowanych nadrzędnie przez minikomputer I-11. Na wyposażeniu linii znajduje się również minikomputer PDP-8 posiadający program awarii, który zapewnia szybką lokalizację uszkodzeń i tego stanowiska, rodzaj uszkodzonego

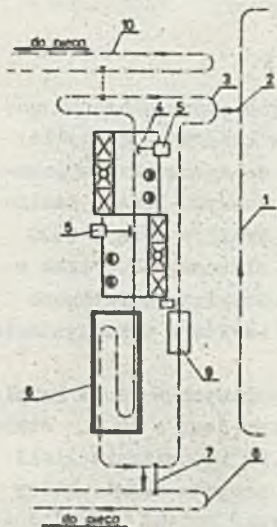
przerwania zewnętrznego lub niewykonanie n-tego kroku programu pracy robota. W przedstawionym procesie technologicznym roboty zgrzewają 384 punkty. Stanowi to około 24 % ogólnej liczby zgrzein wykonanych w linii oraz około 18 % w stosunku do łącznej liczby punktów zgrzewania nadwozia, w tym również wykonanych zgrzewarkami wielopunktowymi.

Zastosowanie robotów zastąpiło pracę 17 pracowników.



Rys. 1. Rozmieszczenie robotów przemysłowych w linii kompletacji nadwozi samochodu Polonez. Stanowiska: 1-ładowanie nadwozia, 2-kontrola ułożenia blach nadwozia, 3-6-zgrzewanie nadwozia z zastosowaniem robotów, 7-zespół robotów zapasowych, 8-kontrola wykonanego zgrzewania, 9-stanowisko rezerwowe, 10-rozładowanie nadwozia.

**Emaliowanie natryskowe.** Przebiego procesu technologicznego z wykorzystaniem robotów przemysłowych do emaliowania natryskowego waniei przedstawiono na rys. 2. Z oddziału tłoczni wanny transportowane są przenośnikiem /1/ do malarni. Wanny na stanowisku /2/ układane są na przenośnik /3/. W kabynie /4/ przy pomocy robota /5/ odbywa się gruntowanie powierzchni wewnętrznej wanny. Dodatkowo za robotem w układzie szeregowym są dwa stanowiska gruntowania ręcznego. W dalszej części kabiny /4/, po stronie przeciwnej w układzie identycznym, gruntowana jest powierzchnia zewnętrzna wanny. Suszenie emalii gruntowej ma miejsce w suszarni /6/. Jeżeli powierzchnia nie wykazuje żadnych wad, to na stanowisku /7/ wanny przenoszone są na przenośnik /8/, a następnie kierowane są do pieca tunelowego wypalania

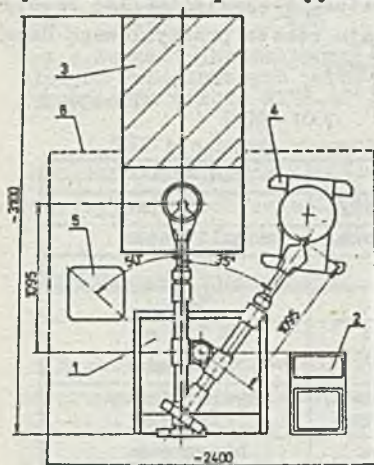


Rys. 2. Proces technologiczny emaliowania natryskowego: 1, 3, 8 i 10-przenośniki; 2, 7-stanowiska ręczne; 4-kabina malarska; 5-roboty; 6-suszarnia; 9-stanowisko usuwania nieprawidłowo położonej emalii.

emalii nie pokazanej na rys. 2. Natomiast, jeżeli emalia została nałożona nieprawidłowo lub wykazuje inne wady, to na stanowisku /9/ odbywa się usuwanie emalii poprzez natrysk wodny. Po wyjęciu z pieca wanna kierowana jest na podobne stanowisko emaliowania, jak pokazano na rys. 2, przy czym emaliowana jest tylko powierzchnia wewnętrzna wanny. Następnie na przenośniku /10/ wanny kierowane są do pieca tunelowego, w którym następuje wypalanie emalii zewnętrznej.

W tym procesie jeden robot zastąpił pracę czterech pracowników.

Obsługa pras. Na rys. 3 przedstawiono gniazdo technologiczne spęczniania wałków na prasie. Robot RIMP-401 /1/ umieszczony został na wprost prasy /3/. Ramiona robota wyposażone są w dwa rodzaje szczęk ze względu na kształt wytłoczki oraz sposób wyjmowania jej z gniazda przyrządu. Podajnik posuwowo-



Rys. 3. Gniazdo technologiczne spęczniania wałków: 1-robot, 2-pulpit sterowniczy, 3-prasa, 4-podajnik, 5-pojemnik, 6-barierka.

-obrotowy /4/ ma wymienną paletę, w którą wkładane są na oddzielnym stanowisku półfabrykaty. Załadowanie palety wałkami oraz założenie jej w korpusie podajnika odbywa się ręcznie. Automatyczny przebieg czynności technologicznych jest następujący: prawe ramię robota wysuwa się nad wałek - zaciśnięcie szczęki - podniesienie ramienia z jednoczesnym wyjęciem wałka z palety. W tym samym czasie lewe ramię zostaje wysunięte nad przyrząd - opuszczenie ramienia - zaciśnięcie szczęk - początek czynności wyjmowania wytłoczki z gniazda prasy. Po podniesieniu ramion i wycofaniu ich w skrajne tylne położenie odbywa się obrót obu ramion w lewo. Lewe ramię wysuwa się nad pojemnik /5/, a zwolnienie zaciśnięcia szczęk powoduje umieszczenie wytłoczki w pojemniku - jednocześnie

prawe ramię wysuwa się w skrajne przednie położenie wkładając wałek w przyrząd prasy. Cykl kończy się podniesieniem ramion i wycofaniem ich w skrajne położenie.

Zastosowanie robota obniżyło prędkość wykonania 1 sztuki o 15 sekund w porównaniu z obsługą ręczną. Robot zastąpił jednego pracownika, a czas obsługi gniazda /załadowanie palety, nadzór techniczny/ wynosi około 10-15 % ogólnego czasu pracy.

### 3. Metodyka aplikacji.

Prawidłowe wykorzystanie robotów przemysłowych w automatyzacji procesów produkcyjnych wymaga pełnej analizy kryteriów, które uzasadniają obiektywną

potrzebę stosowania robotów na konkretnych stanowiskach roboczych lub w danym cyklu technologicznym. Zastosowanie robotów uzależnia się od odpowiedzi, w jakim stopniu projekt robotyzacji będzie w stanie: zwiększyć efektywność produkcji; uwzględnić racje ogólnospołeczne /zwiększyć zapotrzebowanie na wytwory, podnieść ich jakość, zastąpić brak pracowników do wykonania określonych prac; wyeliminować stanowiska pracy ludzkiej z miejsc uciążliwych, monottonnych i niebezpiecznych dla zdrowia; zwiększyć elastyczność produkcji /możliwość zmiany asortymentu produkcji i szybkość przezbrajania maszyn/ oraz poprawić warunki pracy.

Analiza kryteriów stosowania robotów obejmuje analizę techniczną, ekonomiczną, organizacyjną i społeczną. Rodzaje wskaźników, w zależności od rodzaju analizy, dokładnie omówione są w pracach [3, 4]. We wstępnej fazie projektowania istotne znaczenie ma analiza techniczna, która obejmuje: analizę robotyzowanego procesu technologicznego, wybór rodzaju robota przemysłowego oraz współpracę robota z urządzeniami towarzyszącymi.

Tabela I

Parametry techniczne robotów przemysłowych produkcji IIMP

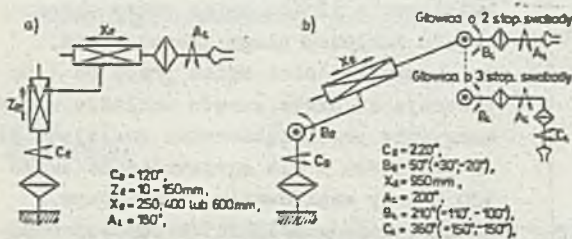
Dane techniczne	RIMP-401	RIMP-1000
Udźwig w kg	1,5-4,0 /15/	30
Struktura kinematyczna	pseudomodułowa	monolityczna
Ilość ramion	1-2	1
Ilość stopni swobody	3-4	5-6
Dokładność pozycjonowania	$\pm 0,3$ mm	$\pm 1,5$ mm
Maksymalny zasięg pracy	1600 mm	2300 mm
Rodzaj napędu	pneumatyczno- -hydrauliczny	hydrauliczny /servo/
Współrzędne ruchu pracy	cylindryczne	biegunowe
Sposób uczenia	pamięć diodowa	sterownik ręczny
Programowanie trajektorii ruchu	od sderzaka do sderzaka	punkt po punkcie /PTP/
Liczba kroków programowych	36	128-1024
Typowe zastosowania	obsługa pras, wtryskarek, obrabiarek	zgrzewanie punktowe, transport międzyoperacyjny

Przy zastosowaniu robotów przemysłowych należy analizować różne warianty rozwiązań z uwzględnieniem:

- zastosowania robotów prostych /o ograniczonej liczbie położeń roboczych, ustawianych za pomocą ograniczników mechanicznych/ współpracujących z pomocniczymi urządzeniami podająco-przenoszącymi;
- zastosowania robotów złożonych /o większej liczbie położeń roboczych, z możliwością ich ustawiania ze sterownika ręcznego albo metodą uczenia bezpośredniego/;
- zastosowania automatów specjalnych zamiast lub oprócz robotów /np. zgrze-

warek wielopunktowych, zamiast robotów zgrzewalniczych, a równocześnie zastosowanie robotów załadowniczo-wyładowczych do obsługi linii;/

-możliwości ograniczenia liczby typów robotów w jednym zakładzie produkcyjnym dla różnego rodzaju zastosowań /ze względu na serwis, możliwość dysponowania robotami zapasowymi oraz zamienność typów/.



Rys. 4. Schematy kinematyczne robotów przemysłowych produkowanych przez IMP: a-wersja jednoramienna robota RIMP-401, b-robot złożony RIMP-1000.

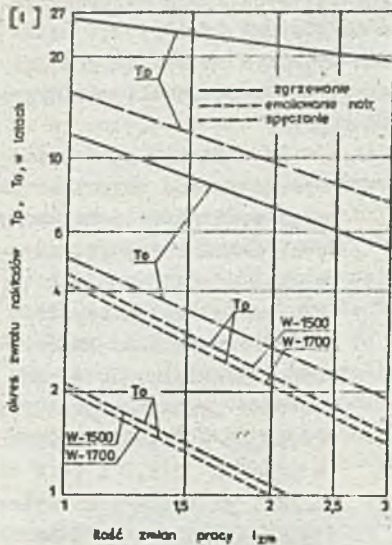
Robotyzacja produkcji wymaga przede wszystkim pełnego rozeznania podstawowych cech charakteryzujących obecnie produkowane roboty, znajomości ich parametrów technicznych oraz budowy. Dane techniczne dotyczące robotów przemysłowych produkowanych w Polsce omówiono w pracach [2, 5, 6 i 7]. W tabeli I przedstawiono wybrane

parametry techniczne robotów przemysłowych konstrukcji Instytutu Mechaniki Precyzyjnej, a ich schematy kinematyczne przedstawiono na rys. 4.

#### 4. Efektywność robotyzacji.

Efektywność stosowania robotów ocenić można wg wskaźników podzielonych na grupy: wskaźniki techniczno-produkcyjne, wskaźniki charakteryzujące relacje między nakładami a efektami oraz wskaźniki uwzględniające ekonomiczność w aspekcie gospodarki narodowej [3, 4]. Rodzaj kryteriów oraz ilość wskaźników oceny zależy od etapu przeprowadzonej analizy, żądanej szczegółowości oraz konkretnego rozwiązania. Kryteria pozaekonomiczne, dotyczące racjonalizacji działalności organizacyjno-technicznej projektowanego układu technicznego, wyznaczają wskaźniki dotyczące organizacji i wydajności pracy, wykorzystania środków pracy, rytmiczności procesu produkcyjnego, wielkości produkcji itp. W analizie ekonomicznej wskaźnikami głównymi najczęściej są: jednostkowy koszt produkcji, okres zwrotu nakładów, współczynnik efektywności ekonomicznej i wartość kosztów produkcji rocznej. Okres zwrotu nakładów inwestycyjnych liczony w płaszczyźnie przedsiębiorstwa /Tp/ lub gospodarki narodowej /To/ określa czas, w ciągu którego włożone nakłady na zamierzenia inwestycyjne ulegają zwrotowi w postaci efektów uzyskanych na skutek zastosowania nowego rozwiązania technicznego.

Na podstawie badań, przeprowadzonych wg metodyki przedstawionej w pracy [8], omówionych przykładów zastosowań robotów przemysłowych stwierdzono, że okres zwrotu nakładów w płaszczyźnie przedsiębiorstwa, niezależnie od ilości



Rys.5. Wpływ ilości zmian pracy na okres zwrotu nakładów.

## 5. Wnioski.

1. Przeprowadzona analiza wykazała, że cykl pracy w badanych liniach produkcyjnych /emaliowania natryskowego i zgrzewania punktowego/ nie zależy od czynności technologicznych wykonywanych przez roboty przemysłowe, a przede wszystkim zastosowanie ich nie wpływa na zwiększenie wydajności linii. Natomiast zastosowanie robota przemysłowego w samodzielnym gnieździe produkcyjnym wpływa w sposób istotny na wydajność /w procesie spęczania wałków wzrost wydajności około 100 %/.

2. Częściowa automatyzacja procesów technologicznych na bazie zastosowań robotów przemysłowych wymaga pełnego wykorzystania ich możliwości technicznych. W tym celu niezbędne jest określenie warunków eksploatacji, programu produkcji, rodzaju procesu technologicznego oraz częstotliwości zmian produkowanego asortymentu.

3. Jak wykazały badania, w procesie emaliowania możliwości techniczne robotów przemysłowych zostały całkowicie wykorzystane. W procesie zgrzewania pojemność pamięci wykorzystana została w około 20 %, a w procesie spęczania wałków w około 33 %, ponadto robot w procesie spęczania nie jest racjonalnie wykorzystany ze względu na program produkcji.

4. Powierzchnia produkcyjna w procesie emaliowania jest większa, około 28 %, w procesie spęczania wałków około 68 % w stosunku do pracy ręcznej.

zmian pracy, jest wyższy w porównaniu do okresu zwrotu nakładów w płaszczyźnie gospodarki narodowej. Wskaźniki te są najwyższe dla zgrzewania, a najniższe dla emaliowania natryskowego /rys.5/. W miarę zwiększania ilości zmian pracy okres zwrotu nakładów ulega zmniejszeniu. Zwiększenie ilości zmian pracy od 1 do 3 powoduje, że okres zwrotu nakładów w płaszczyźnie przedsiębiorstwa zmniejsza się od około 140 % dla zgrzewania do około 300 % przy emaliowaniu natryskowym. W płaszczyźnie gospodarki narodowej odpowiednio - od około 220 % dla zgrzewania do około 300 % przy emaliowaniu natryskowym.

Natomiast w linii zgrzewania z zastosowaniem robotów przemysłowych powierzchnia ta jest mniejsza o około 22 %.

5. Koszt energii produkcyjnej we wszystkich procesach technologicznych z zastosowaniem robotów przemysłowych jest wyższy. Jak wynika z danych doświadczalnych, zwiększenie kosztu energii jest około 3-krotne względem porównywalnego rozwiązania pracy ręcznej.

#### LITERATURA

- [1] Buda J., Kováč M.: Zastosowanie robotów przemysłowych. WNT, Warszawa 1979.
- [2] Kowalski A.: The industrial robots - the future of full automation of production. Polish Machine Industry - offers, 1978, nr 12/68/.
- [3] Granicki J.: Przesłanki oceny stosowania robotów przemysłowych. Przegląd Organizacji, 1978, nr 9.
- [4] Granicki J.: Badanie efektywności robotów przemysłowych. Przegląd Organizacji, 1978, nr 10.
- [5] Dubina A., Kowalski A.: Roboty przemysłowe produkcji krajowej. Magazyn Technologa Przemysłu Lotniczego i Silnikowego PZL, 1978, nr 2.
- [6] Dubina A., Kowalski A.: Układ sterowania prostych robotów przemysłowych typu RIMP. Biuletyn Techniczny "MERA", 1979, nr 4/206/.
- [7] Kowalewicz Z., Kowalski A.: Automatyczne maszyny manipulacyjne typu RIMP-401. Przegląd Mechaniczny, 1979, nr 10.
- [8] Granicki J.: Ekonomiczno-organizacyjne warunki wprowadzania automatyzacji stanowisk pracy w przemyśle maszynowym przy zastosowaniu robotów przemysłowych. Oprac. wewn. IMP, 1979-1980.

#### ТЕХНИЧЕСКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

#### Резюме

В статье представлено примеры применения роботов в заводах машиностроительной промышленности. Проведена оценка экономической эффективности этих практических применений, а также типы промышленных роботов разработаны Институтом Прецизионной Механики в Варшаве.

**TECHNICAL AND ECONOMICAL PROBLEMS OF THE INDUSTRIAL ROBOTS' APPLICATIONS****S u m m a r y**

Examples of the industrial robots' applications in polish engineering industry plants, for which one performed evaluations of the applications' effectiveness are discussed. The methodology of robots' applications and all types of industrial robots produced by the Institute of Precision Mechanics are also described.