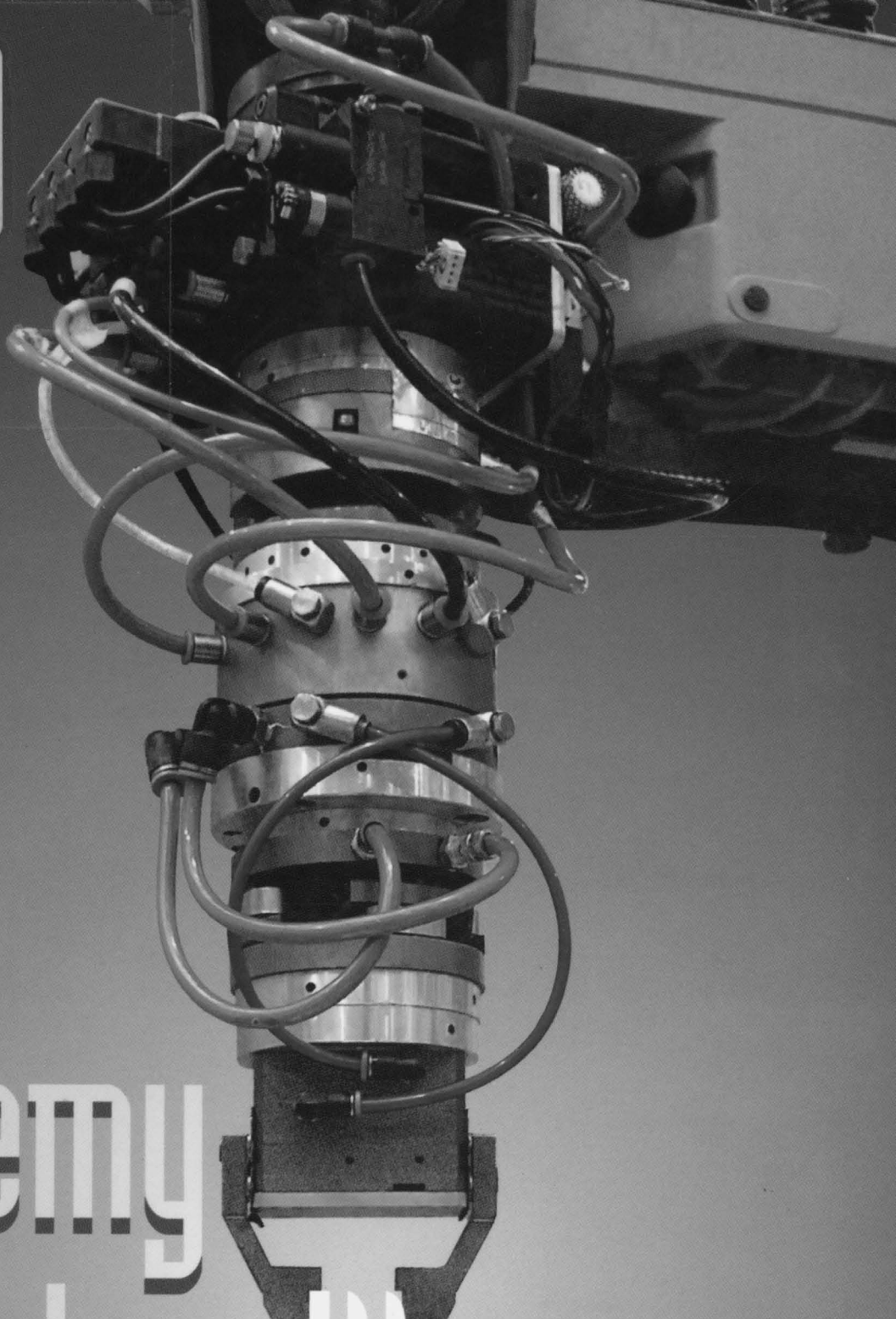


Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej



100100041273

Tomasz Koch



Systemy zrobotyzowanego montażu

Tomasz Koch

**Systemy
zrobotyzowanego
montażu**



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2006

Recenzenci
Leszek KWAPISZ
Jan ŻUREK

Opracowanie redakcyjne
Alina KACZAK

Projekt okładki
Zofia i Dariusz GODLEWSCY

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

ISBN 83-7085-940-2

Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 263/2006.

Mojej Žonie Boženie

Spis treści

Przedmowa	7
1. Miejsce i znaczenie montażu w procesie produkcyjnym	9
1.1. Metody montażu części.....	9
1.2. Robotyzacja w montażu	11
1.2.1. Projektowanie wyrobu pod kątem montażu automatycznego.....	11
1.2.2. Robotyzacja systemu montażowego.....	12
1.3. Zintegrowany model montażu.....	14
Literatura	15
2. Dobór systemu montażowego	17
2.1. Wstępny dobór systemu	18
2.1.1. Systemy montażowe	19
2.1.2. Komputerowo wspomagany wybór systemu montażowego	20
2.1.3. Przykład analizy doboru systemu montażowego	23
2.2. Ogólne zasady projektowania wyrobów zorientowanego na montaż.....	26
2.3. Analiza konstrukcji wyrobu z użyciem oprogramowania DFA	27
2.3.1. Przykład zastosowania analizy DFA	33
2.3.2. Przykładowe zastosowania metodyki DFA w procesie konstruowania wyrobów	38
Literatura	46
3. Roboty montażowe	47
3.1. Wymagania stawiane robotom montażowym	47
3.2. Robot o kinematyce SCARA	49
3.2.1. Budowa.....	51
3.2.2. Sterowanie	53
3.2.3. Zadanie proste kinematyki.....	56
3.2.4. Zadanie odwrotne kinematyki	58
Literatura	60
4. Wyposażenie technologiczne robotów montażowych.....	61
4.1. Urządzenia chwytne.....	62
4.1.1. Budowa chwytaków robotów montażowych	65
4.1.2. Chwytaaki siłowe	72
4.1.3. Chwytaaki kształtowe	79
4.1.4. Specjalne urządzenia chwytające	81
4.2. Zasady doboru i projektowania chwytaków robotów przemysłowych.....	82
4.2.1. Zasady doboru chwytaków robotów przemysłowych.....	83
4.2.2. Zasady projektowania chwytaków robotów	87
4.3. Urządzenia wspomagające proces kojarzenia	90
4.3.1. Bierne urządzenia kompensujące	91

4.3.2. Aktywne urządzenia kompensacyjne.....	98
4.3.3. Mieszane urządzenia kompensacyjne.....	101
4.3.4. Urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi.....	101
4.3.5. Głowice rewolwerowe.....	103
4.3.6. Urządzenia antykolidacyjne.....	104
4.4. Planowanie wyposażenia robotów montażowych z uwagi na dokładność pozycjonowania i orientowania.....	105
Literatura.....	110
5. Urządzenia magazynujące, orientujące i dostarczające części na stanowiska montażowe.....	113
5.1. Określenie stanu początkowego i końcowego części.....	115
5.2. Wyznaczenie stanów pośrednich.....	116
5.3. Funkcje ciągu orientującego.....	117
5.4. Dobór urządzeń realizujących funkcje ciągu orientującego.....	119
5.5. Dokumentacja urządzenia przygotowującego części do montażu.....	123
Literatura.....	124
6. Stanowisko montażu ręcznego.....	125
6.1. Projektowanie stanowiska montażu ręcznego.....	125
6.2. Projektowanie gniazd montażu ręcznego.....	132
Literatura.....	138
7. Montażowe systemy transportowe.....	139
7.1. Klasyfikacja montażowych urządzeń transportowych.....	139
7.2. Zestawienie i dobór montażowych urządzeń transportowych.....	145
7.3. Przykład zastosowania modułowego systemu transportowego w elastycznym gnieździe montażowym.....	148
Literatura.....	150
8. Komputerowo wspomagane projektowanie systemów montażowych.....	151
Literatura.....	159

Przedmowa

W trakcie powstawania tej pracy wykorzystałem doświadczenie badawcze i dydaktyczne zebrane w ciągu ostatnich 10 lat kierowania zespołem Robotyki i Montażu w Centrum Zaawansowanych Systemów Produkcyjnych (CAMT) w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej. Tematyka montażu, którą zajmowałem się z różną intensywnością w tym okresie, okazała się niezwykle interesująca z wielu względów. To, co zdecydowanie przesądza o znaczeniu tej tematyki wynika z faktu, że na ogół, co najmniej 30% pracochłonności wytwarzania wyrobów przypada właśnie na montaż. Właściwe zaprojektowanie konstrukcji wyrobu ze względu na jej montażową technologiczność, następnie właściwe zaplanowanie procesu montażu oraz zaprojektowanie odpowiedniego systemu montażowego może przynieść duże oszczędności i dzięki temu decydować w olbrzymiej mierze o konkurencyjności na rynku.

W książce skupiono się na montażowych stanowiskach zrobotyzowanych. Pierwsze dwa rozdziały wprowadzają do zagadnienia robotyzacji montażu i umiejscawiają montaż zrobotyzowany pośród innych form montażu, jak również w całym procesie produkcyjnym. Poruszają także dwa fundamentalne zagadnienia dla montażu: projektowanie wyrobów zorientowane na montażową technologiczność ich konstrukcji oraz ekonomicznie uzasadnione dobieranie systemu montażowego spośród poszczególnych opcji i poziomów/rodzajów automatyzacji. W rozdziałach trzecim, czwartym i piątym, stanowiących nieco ponad połowę całości książki, poruszono wiele aspektów zrobotyzowanych stanowisk montażowych, takich jak roboty montażowe, ich oprzyrządowanie oraz wyposażenie zrobotyzowanych stanowisk montażowych. Często systemy montażowe wymagają integracji zarówno montażu zautomatyzowanego, jak i montażu ręcznego, dlatego też rozdział szósty poświęcono projektowaniu stanowisk i gniazd właśnie montażu ręcznego. W rozdziale siódmym przedstawiono montażowe systemy transportowe i ich dobór. Rozdział ósmy sygnalizuje zagadnienia komputerowego wspomaganie projektowania systemów montażowych.

Książka skierowana jest do studentów i doktorantów wydziałów mechanicznych politechnik oraz inżynierów interesujących się zagadnieniami zrobotyzowanego montażu.

Chciałbym w tym miejscu wyrazić podziękowanie wszystkim osobom, które w różnej formie wspierały mnie przy opracowaniu tej książki. Słowa podziękowania kieruję przede wszystkim w stronę moich byłych i obecnych współpracowników (doktorantów): dra inż. Andrzeja Kocełucha, dra inż. Sławomira Bielskiego, dra inż. Jacka Malickiego, dra inż. Krzysztofa Chrapka i mgr inż. Roberta Kagana za pomoc w zbieraniu materiałów, za wnoszenie uwag i pomoc przy składzie komputerowym.

Wrocław, listopad 2005 r.

Tomasz Koch

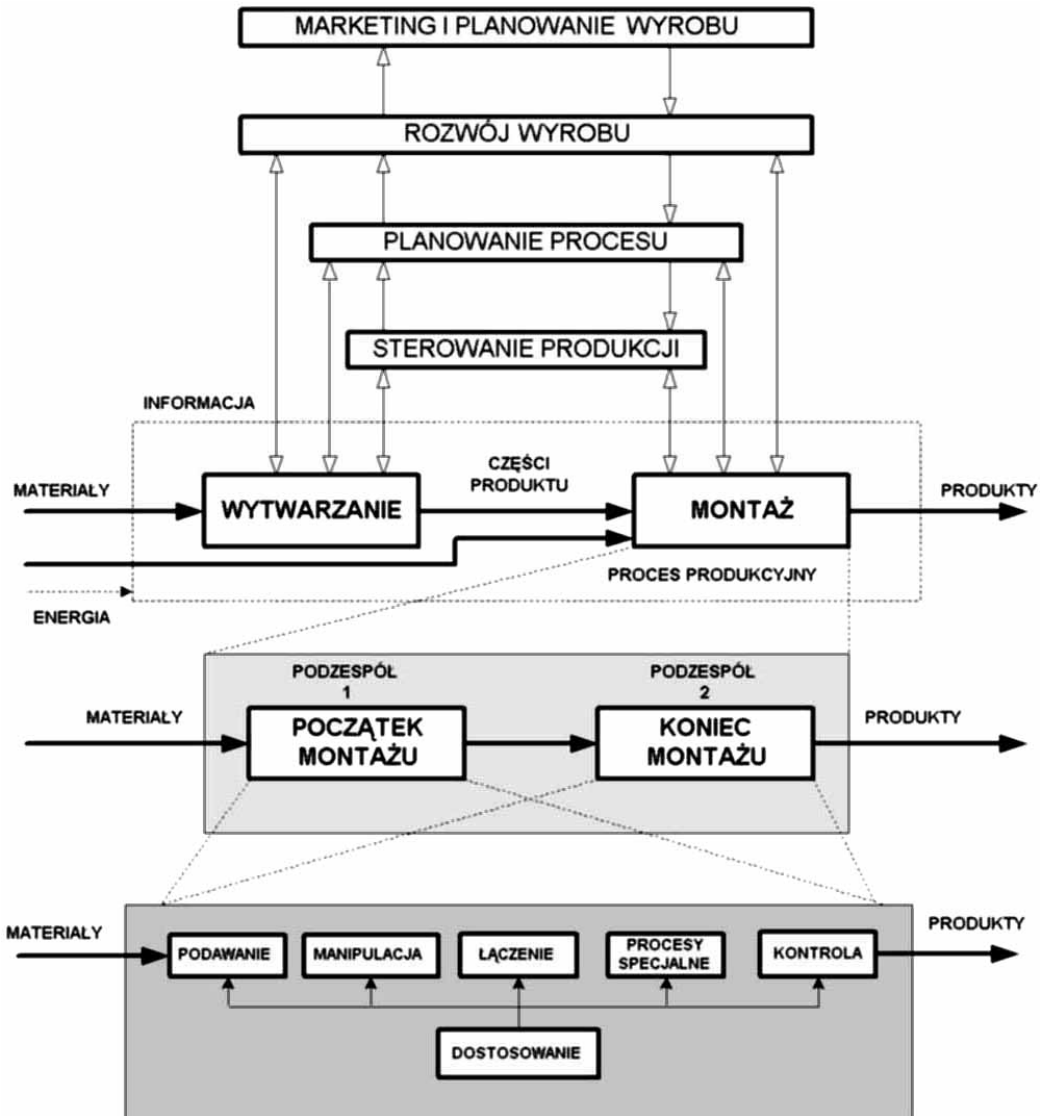
1. Miejsce i znaczenie montażu w procesie produkcyjnym

Wytwarzanie części oraz ich montaż są składnikami procesu produkcyjnego. W procesie wytwarzania półprodukt podlega zmianom kształtu, wymiarów oraz innych cech użytkowych, przez co jest przekształcany w gotową część. W procesie montażu części są łączone ze sobą w podzespoły lub bezpośrednio w gotowy wyrób. Na rysunku 1.1 pokazano relacje między procesami wytwarzania i montażu na tle procesu produkcyjnego. Montaż, w znaczeniu przepływu wyrobów i materiałów, jest związany z procesem wytwarzania, natomiast w znaczeniu przepływu informacji jest zintegrowany ze sterowaniem produkcji, planowaniem procesów i produkcją, rozwojem wyrobu oraz pośrednio z marketingiem i planowaniem wyrobu.

1.1. Metody montażu części

Spośród wielu sposobów klasyfikowania montażu jeden z najbardziej znanych to podejście Boothroyda i Dewhursta [1]. Według nich głównymi wyznacznikami wyboru odpowiedniej metody montażu na etapie projektowania systemu montażowego są z jednej strony: montowane wyroby, proces i charakterystyka produkcji, z drugiej zaś kryteria ekonomiczne, takie jak: koszty wytwarzania, liczba zmian produkcyjnych itp. Opierając się na tych zasadach, można metody montażu podzielić na sześć typów:

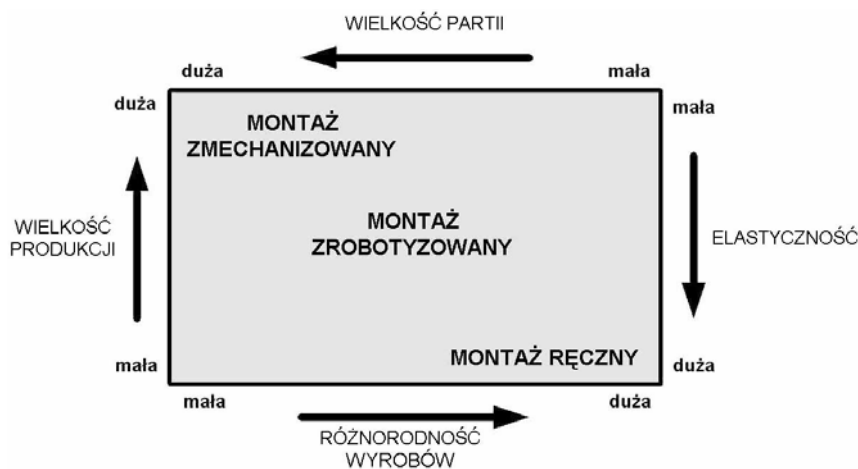
- montaż ręczny,
- montaż ręczny ze wspomaganie za pomocą narzędzi technicznych,
- montaż mechaniczny z zastosowaniem urządzeń podziałowych (indeksujących),
- montaż mechaniczny z użyciem urządzeń specjalizowanych,
- montaż automatyczny z wykorzystaniem programowalnych systemów podawania,
- montaż automatyczny z wykorzystaniem robotów przemysłowych.



Rys. 1.1. Montaż jako składnik procesu produkcyjnego [4]

Na rysunku 1.2 przedstawiono metody montażu w relacji do: wielkości produkcji, różnorodności produktów, wielkości partii i stopnia elastyczności.

Montaż zrobotyzowany znajduje się między technikami ręcznymi i zmechanizowanymi, i jest zdefiniowany jako: elastyczna automatyzacja procesu montażu, podczas której operacje są realizowane z pomocą jednego lub więcej robotów przemysłowych.



Rys. 1.2. Metody montażu odniesione do wielkości produkcji, różnorodności wyrobów, wielkości serii i elastyczności [4]

1.2. Robotyzacja w montażu

1.2.1. Projektowanie wyrobu pod kątem montażu automatycznego

Metodyka projektowania wyrobów ze względu na montaż DFA (z ang. *Design for Assembly* – projektowanie zorientowane na montażową technologiczność konstrukcji) jest jednym z czynników sprzyjających rozwojowi montażu zrobotyzowanego [5]. Metodyka DFA ukierunkowuje konstruktorów na projektowanie przyjazne dla montażu i dzieli się na analizę wyrobu oraz reguły projektowania.

Analiza wyrobu wymaga podania charakterystyki części wchodzących w jego skład oraz cech połączeń między tymi częściami. Charakterystyki te wpływają na złożoność procesu montażu i wymagany czas jego realizacji. Reguły projektowania są oparte na dwóch cechach: skracaniu liczby operacji montażowych i ich upraszczaniu. Skracanie liczby operacji może być osiągnięte m.in. przez projektowanie modułowej budowy wyrobów oraz eliminowanie nadmiernej liczby części składowych, zgodnie z kryterium celowości ich występowania. Operacje montażowe mogą być upraszczane w wyniku analizy reguł projektowania, np. głównego kierunku montażu (preferowany pionowy z góry na dół), systemu podawania, manipulacji i kojarzenia obiektów, czy też dobrej dostępności do poszczególnych komponentów.

W ciągu ostatnich 20 lat, na bazie metodyki DFA, rozwinięto wiele nowych metod projektowania, które umożliwiają optymalizowanie projektowania wyrobów, zmniejszają złożoność procesu montażowego oraz redukują koszty montażu.

1.2.2. Robotyzacja systemu montażowego

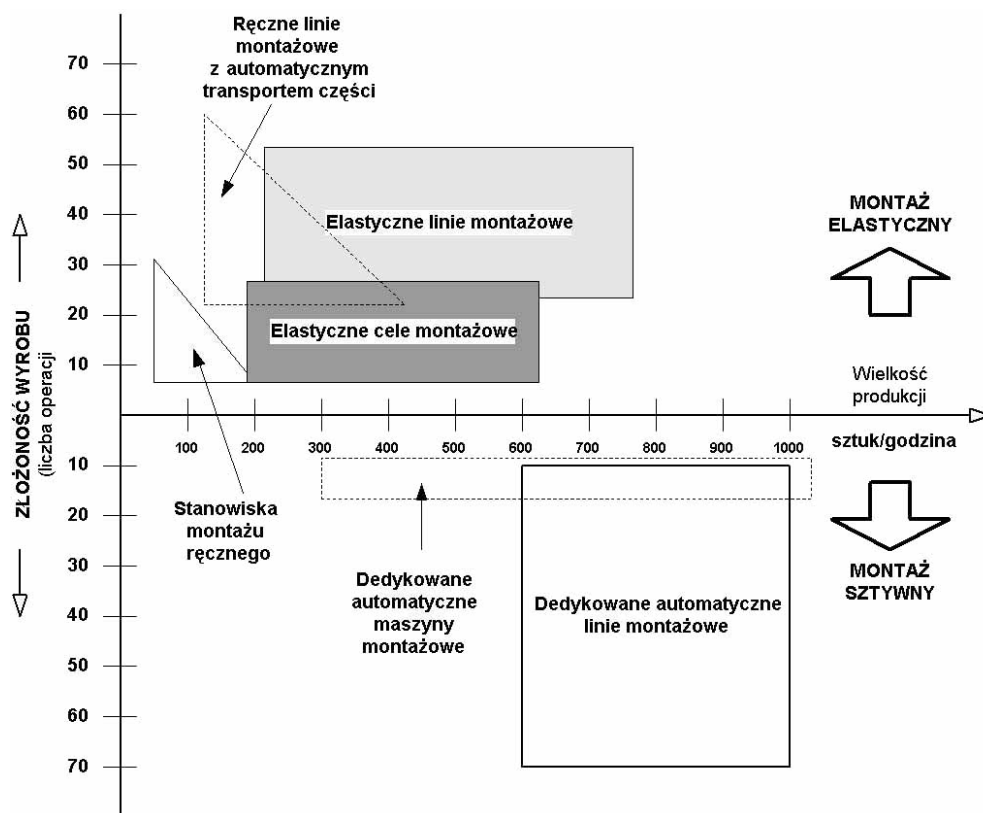
Zrobotyzowany system montażowy jest definiowany jako struktura złożona z personelu, jednego lub kilku robotów montażowych oraz elastycznego wyposażenia peryferyjnego do montażu pojedynczych obiektów lub podzespołów w gotowy wyrób. Personel w systemie realizuje funkcje wspomaganie i nadzorowania prac montażowych, np. związanych z wdrożeniem systemu, uzupełnianiem magazynu palet, nadzorem, programowaniem i zarządzaniem systemem. Funkcjami wypełnianymi przez roboty montażowe są operacje manipulowania obiektami w systemie. Wyposażenie peryferyjne spełnia rolę związaną z automatyzacją podawania części do montażu, ze stosowaniem odpowiednich narzędzi, czujników, systemów kontrolnych oraz z bezpieczeństwem. Robot montażowy jest zautomatyzowaną i programowalną maszyną manipulacyjną, wyposażoną w człon roboczy, mogący realizować postawione zadania manipulacyjne. Człon roboczy to specjalne narzędzie (np. klucz pneumatyczny, głowica technologiczna do lutowania itp.) lub układ chwytny, składający się z urządzeń mających bezpośredni (np. chwytaki) lub pośredni (np. urządzenia RCC – patrz rozdz. 4.3) udział w procesie manipulacji częściami.

Zrobotyzowane systemy montażowe buduje się w dwóch podstawowych konfiguracjach:

- zrobotyzowane gniazda montażowe; wymagają stosowania niezależnych jednostek składających się z jednego lub więcej robotów oraz wyposażenia peryferyjnego do realizacji montażu wyrobu; cechą charakterystyczną tej struktury jest relatywnie długi cykl pracy oraz duża liczba różnych obiektów montowanych przez jednego robota,

- zrobotyzowane linie montażowe; ten układ łączy w sobie kilka stanowisk roboczych zainstalowanych w linii; cechą tej struktury jest krótki cykl pracy, ograniczona liczba montażu różnych obiektów przez każdego robota oraz konieczność transportu wyrobu między poszczególnymi stanowiskami; linia zrobotyzowana może również składać się z kilku gniazd, połączonych za pomocą systemu transportowego, z możliwością użycia buforów między nimi.

Wyróżnić można dwie charakterystyczne struktury systemów zrobotyzowanych. Pierwszą strukturę liniową, stosowaną powszechnie w Japonii, związaną z wielkością zapotrzebowania przez tamtejszy rynek oraz drugą, stosowaną przede wszystkim w USA oraz coraz powszechniej w Europie, charakteryzującą się stosowaniem układów w formie zrobotyzowanych gniazd montażowych, głównie ze względu na mniejszą produkcję. Na podstawie obserwacji rynku w Niemczech oraz gałęzi przemysłu elektromechanicznego sklasyfikowano różne rodzaje metod i struktur systemów montażowych. Dokonano podziału na: elastyczne systemy montażowe (ręczne i zrobotyzowane) oraz na sztywne (zmechanizowane) systemy montażowe [3]. Na rysunku 1.3 przedstawiono klasyfikację systemów montażowych. Już w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku zanotowano dynamiczny rozwój zastosowań robotów do montażu.



Rys. 1.3. Klasyfikacja systemów montażowych [3]

Badania systemów w Wielkiej Brytanii, które wykorzystują do prac roboty montażowe (około 106 różnych systemów), prowadzone w drugiej połowie lat 80. wykazały następujące ich cechy [2]:

- najwięcej zastosowań w przemyśle samochodowym (około 35%), przemyśle metalowym oraz elektromechanicznym (każdy po 25%),
 - zastosowano dwa razy więcej gniazd montażowych niż linii montażowych,
 - średnia liczba części standardowych w wyrobie wynosiła 20, a unikatowych 10,
 - 80% części miało masę mniejszą niż 4 kg,
 - 70% miało wymiary w zakresie: $100 \times 100 \times 100$ mm,
 - 30–60% części było przeprojektowanych na potrzeby montażu automatycznego,
 - wśród materiałów dominowały: stal, żeliwo, tworzywo sztuczne i szkło,
 - czas cyklu dla 75% systemów mieścił się w jednej minucie, dla 30% z nich był poniżej 12 sekund,
 - średnia wielkość produkcji sięgała do 800 000 wyrobów rocznie na każdą zmianę produkcyjną.

Roboty montażowe coraz częściej stosuje się do kompleksowego montażu wyrobów finalnych, zwłaszcza w zakresie produkcji mało- i średnioseryjnej. Prognozy wykazują, że montaż zrobotyzowany staje się szczególnie opłacalny w produkcji mało- i średnioseryjnej, między 100 000 a 600 000 wyrobów rocznie na zmianę produkcyjną. Zgodnie ze schematem (rys. 1.3) wielkość produkcji dla zrobotyzowanych gniazd montażowych mieści się pomiędzy 200 a 620 wyrobów na godzinę, a dla zrobotyzowanych linii montażowych między 220 a 750.

1.3. Zintegrowany model montażu

W trakcie procesu projektowania należy zwrócić szczególną uwagę na spójność w montażu między wyrobem, procesem i systemem. Zrozumienie wzajemnych związków między nimi jest ważnym krokiem zarówno w analizie i projektowaniu systemu montażowego, rozwoju wyrobu, jak i planowaniu procesu montażowego. W modelu montażu przedstawionym na rys. 1.4 uwypuklono relację między zbiorem zmiennych montażowych, które odgrywają rolę na każdym etapie procesu projektowania. Do zmiennych montażowych zaliczają się: wyrób, proces montażu oraz system montażowy. Podane pojęcia zostały uszczegółowione na trzech wzajemnie ze sobą powiązanych poziomach abstrakcji. Związki między poszczególnymi zmiennymi na tym samym poziomie są silniejsze niż na różnych poziomach [4].

Wyrób

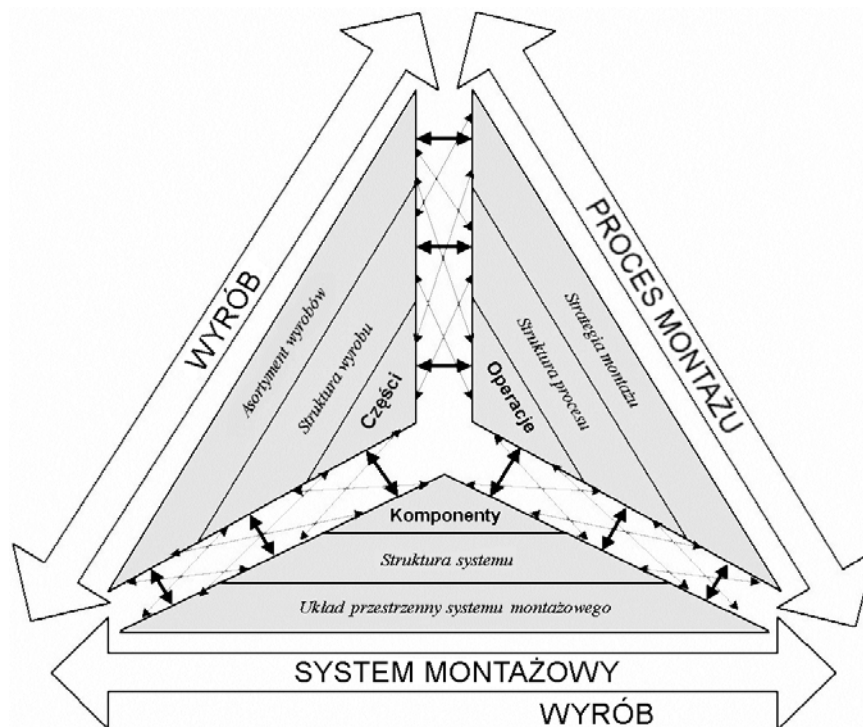
Zrobotyzowane systemy montażowe przeznaczone są do montażu rodzin wyrobów, przy czym rodzina wyrobów jest rozumiana tu jako zbiór ich wariantów, odznaczających się podobieństwem charakterystyk. Zmienna montażowa „wyrób” składa się z trzech poziomów:

- asortymentu – warianty i rodziny wyrobów,
- struktury – obejmuje klasyfikację wyrobów i ich podział na podzespoły i obiekty pojedyncze oraz występujące między nimi połączenia,
- części – obejmuje szczegółowy opis podzespołów i pojedynczych obiektów składających się na wyrób.

Proces montażu

Zmienna montażowa „proces” obejmuje trzy obszary:

- strategię montażu – wybór metod spośród rozwiązań alternatywnych w celu zwiększenia stopnia kontroli nad procesem,
- strukturę montażu, na którą składają się całe sekwencje operacji montażowych i związki między nimi,
- operacje złożone z pewnej liczby zabiegów montażowych, takich jak podawanie, chwytanie, kojarzenie, sprawdzanie oraz inne procesy specjalne.



Rys. 1.4. Zintegrowany model montażu [4]

System montażowy

Zmienna montażowa „system” jest podzielona na trzy elementy:

- układ przestrzenny (*layout*) systemu – obejmuje aranżację przestrzenną komponentów systemu, jego lokalizację oraz wzajemne związki między nimi,
- strukturę systemu – jego komponenty i sposoby ich połączenia,
- komponenty systemu – podsystemy systemu globalnego realizujące określone funkcje.

Literatura

- [1] Boothroyd G., Dewhurst P., *Product Design for Assembly*, Boothroyd Dewhurst Inc., USA 1991.
- [2] Harrington S. J., Sackett P. J., *Study of robotic assembly systems*, Assembly Automation, August 1987.
- [3] Lotter B., *Planning and implementation of flexible assembly cells*, Proceedings of the 7th International Conference on Assembly Automation, IFS publication Bedford, 1986.
- [4] Rampersad H., *Integrated and Simultaneous Design for Robotic Assembly*, John Wiley&Sons, Chichester 1994.
- [5] Redford A., Chal J., *Design for Assembly. Principles and Practice*, McGraw Book Company, Londyn 1994.

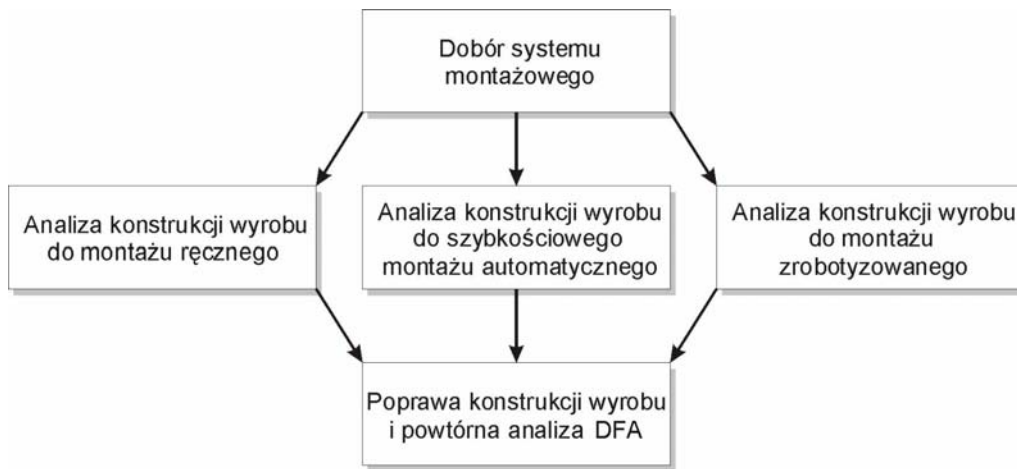
2. Dobór systemu montażowego

Koszty produkcji wyrobu są w dużej mierze determinowane podczas procesu jego projektowania. Składają się na nie głównie koszty związane z produkcją oraz koszty poprawy błędów konstrukcyjnych i technologicznych wykrytych na etapie wytwarzania, a powstałych podczas projektowania. Ocena jakości konstrukcji nowego wyrobu pod kątem wytwarzania i montażu wymaga dużej wiedzy, doświadczenia i wielu danych. Ponieważ wiele czynników wpływa pośrednio na wzrost kosztów produkcji, niezbędne są odpowiednie metody szacowania tych kosztów.

Podczas projektowania wyrobu i metod jego wytwarzania konieczne jest spełnienie dwóch warunków: system montażowy musi być dostosowany do założeń produkcyjnych zakładu (wielkość produkcji, akceptowalne koszty) oraz konstrukcja wyrobu powinna być dostosowana do systemu montażowego. Im wcześniej zostanie dobrany sposób montażu wyrobu, tym szybciej jego konstrukcja zostanie dostosowana do wymogów wybranego systemu.

Próbą systematyzacji procesu doboru systemu montażowego i projektowania wyrobów są rozwijane metodyki znane pod nazwą DFA (ang. *Design for Assembly*). Podstawy teoretyczne oraz dane bazowe czasu montażu, jednej z najbardziej rozpowszechnionych metodyk w tym zakresie, zostały opracowane przez profesorów G. Boothroyda i P. Dewhursta z University of Rhode Island, Kingston w USA [4]. Wynikiem ich pracy jest zestaw programów komputerowych, który umożliwia szybkie przeprowadzenie analizy konstrukcji wyrobu i jego części składowych.

We wczesnym etapie konstruowania wyrobu, kiedy istnieje tylko koncepcja jego budowy, dane o konstrukcji części składowych wyrobu są zbyt ogólne, aby można je było wykorzystać do szczegółowej analizy pod kątem montażu. Z kolei, gotowy wyrób powinien być dostosowany do możliwości systemu montażowego, przy użyciu którego ma on być montowany. Widać więc, że dla ukierunkowania prac konstrukcyjnych wskazane jest określenie docelowego systemu montażowego we wczesnym etapie projektowania. Powstaje jednak problem jak tego dokonać, dysponując tak niewielką liczbą danych dotyczących samego wyrobu. Okazuje się, że można w tym celu wykorzystać inne, bardziej ogólne dane [2] i taka ocena jest wystarczająca do prowadzenia prac projektowych. Jest to pierwszy etap analizy DFA (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Etapy projektowania zorientowanego na montaż [1]

Kolejnym problemem jest weryfikacja konstrukcji wyrobu ze względu na montaż. Należy ocenić, czy i w jakim stopniu wyrób jest dostosowany do montażu z użyciem założonego systemu montażowego. Aby uzyskać dobre wyniki, należy analizę taką wykonywać w różnych stadiach rozwoju konstrukcji wyrobu, kiedy są dostępne wymagane dane. Analiza konstrukcji wyrobu, pod kątem jego montażu w wybranym systemie montażowym, stanowi drugi etap analizy DFA.

2.1. Wstępny dobór systemu

Dobór systemu montażowego we wczesnym etapie projektowania wyrobu jest decyzją, która określi przyszłą jego postać i koszty wytwarzania. Można ją podjąć na podstawie ogólnych danych o przyszłej konstrukcji wyrobu (liczba części), planowanej wielkości i długości produkcji oraz wskaźników charakteryzujących koszty stałe zakładu produkcyjnego.

Przykładowo, wyrób lub podzespół produkowany w liczbie 1000 sztuk rocznie będzie montowany ręcznie. Jeśli jego produkcja wyniesie kilka milionów sztuk rocznie, to największe korzyści przyniesie zastosowanie automatycznej linii montażowej. Gdzieś pomiędzy tymi granicznymi obszarami znajdzie się wielkość produkcji wyrobu, dla której ekonomiczne będzie zastosowanie zrobotyzowanego systemu montażowego.

Wyrób oznacza tu rodzinę wyrobów, których konstrukcja różni się nieznacznie, a wykorzystywana do jego montażu maszyna, po zmianie programu, może być zastosowana w procesie montażu innej jego wersji.

2.1.1. Systemy montażowe

Metodyka DFA grupuje systemy montażowe według następującej klasyfikacji [2]:

- montaż ręczny na jednym stanowisku lub linii montażowej, wykorzystujący proste narzędzia,
 - montaż zrobotyzowany:
 - gniazdo montażowe z jednym ramieniem robota,
 - gniazdo montażowe z dwoma ramionami robota,
 - wielostanowiskowa zrobotyzowana asynchroniczna linia montażowa,
 - montaż zautomatyzowany:
 - linia montażowa synchroniczna,
 - linia montażowa asynchroniczna.

W praktyce systemy montażowe są kombinacją dwóch lub więcej wymienionych metod. Przykładowo, wielostanowiskowa linia montażowa może łączyć urządzenia do montażu automatycznego, roboty i stanowiska montażu ręcznego.

W montażu ręcznym wykorzystywane narzędzia są proste i tanie, jego koszt jest stały i nie zależy od wielkości produkcji wyrobu, a cechą szczególnie ważną jest elastyczność.

Stanowisko montażowe z jednym ramieniem robota składa się zwykle z robota, osprzętu i wyposażenia specjalnego (np. podajniki wibracyjne, magazyny, specjalne narzędzia i chwytaki dla robota). Człon roboczy na końcówce robota powinien mieć co najmniej cztery stopnie swobody (przesunięcie wzdłuż osi X , Y , Z oraz obrót wokół osi Z), co umożliwia swobodny montaż wyrobu i zmianę orientacji montowanych części.

Na stanowisku z dwoma ramionami robota ruchami ramion steruje jeden wspólny układ sterujący. Wyposażenie stanowiska i konfiguracja ramion robotów jest podobna do stosowanych w stanowiskach z jednym ramieniem robota. Zaletą takiego rozwiązania stanowiska montażowego jest skrócenie czasu montażu wyrobu.

Stosowanie wielostanowiskowej, asynchronicznej zrobotyzowanej linii montażowej ma na celu jeszcze większe skrócenie czasu montażu. Zazwyczaj jest ona zbudowana z pojedynczych gniazd zrobotyzowanych, połączonych asynchronicznym systemem transportowym. Pomiędzy gniazdami mogą znajdować się bufory, magazynujące części przed wykonaniem następnej operacji. Dzięki temu, że na każdym stanowisku może być wykonywana więcej niż jedna operacja montażowa (po zmianie programu i zwykle również oprzyrządowania), linia taka wykazuje dużą elastyczność.

Budowa automatycznej linii montażowej jest dostosowana do montażu jednego konkretnego wyrobu (i jego wariantów). Składa się ze stanowisk montażowych połączonych systemem transportowym. System transportowy może działać

synchronicznie lub asynchronicznie. Jedno stanowisko montażowe, przeznaczone do wykonywania tylko jednej określonej operacji, to np. głowica robocza i podajnik części. Maszyny takie są drogie, przeznaczone do montażu tylko jednego wyrobu i po zakończeniu jego produkcji trudno jest znaleźć dla nich zastosowanie.

2.1.2. Komputerowo wspomagany wybór systemu montażowego

W zestawie oprogramowania DFA, oferowanego przez firmę BDI (*Boothroyd Dewhurst, Inc.*) znajduje się proste narzędzie ułatwiające dobór systemu montażowego we wczesnym etapie konstruowania [1, 2]. Celem analizy jest wskazanie systemu, z wykorzystaniem którego montaż wyrobu będzie najtańszy. Do wykonania tego zadania wykorzystywane są dane o przedsiębiorstwie (tab. 2.1), wyrobie (tab. 2.2) oraz o analizowanych systemach montażowych.

Dane z tabeli 2.1 opisują obecne (planowane) koszty związane z zakupem i eksploatacją maszyn, koszty osobowe oraz ogólne parametry technologiczne. Wśród danych opisujących wyrób jedyną informacją, dotyczącą jego konstrukcji, jest liczba części. Występuje tu założenie, że to głównie liczba części wyrobu przyczynia się do powiększania kosztów montażu, a nie ich konstrukcja (zwykle można ją zmienić, dostosować). Każda dodatkowa część powoduje: rozbudowę linii montażowej o kolejne urządzenia (podające, orientujące), wzrost czasu montażu, zwiększenie liczby pracowników obsługujących linię montażową.

Dane o systemach montażowych są zawarte w bazie danych wykorzystywanej przez program DFA i dotyczą możliwości produkcyjnych systemu montażowego (w przybliżeniu), w zależności od liczby części składowych wyrobu.

Podstawą do oceny systemu montażowego jest względny koszt montażu, przybliżony czas jego realizacji oraz możliwości produkcyjne systemu. Porównywane koszty są określone w odniesieniu do kosztu montażu ręcznego, którego wartość przyjmuje się za 1. Jeśli koszt montażu jest większy od jedności, to znaczy, że zastosowanie danego systemu jest droższe.

Dla każdego zestawu danych można uzyskać wyniki w postaci tabel i wykresów. W tabelach zawarto orientacyjny czas i koszt montażu jednej sztuki wyrobu, przybliżoną wielkość rocznej produkcji i koszt maszyny montażowej.

Wykresy przedstawiają dwie zależności:

- w jaki sposób kształtuje się jednostkowy koszt montażu wyrobu zależnie od wielkości rocznej produkcji dla wymienionych w podrozdziale 2.1.1 systemów (rys. 2.2),
- dobór jakiego systemu montażowego będzie najkorzystniejszy, biorąc pod uwagę wielkość rocznej produkcji i liczbę części w wyrobie (rys. 2.3).

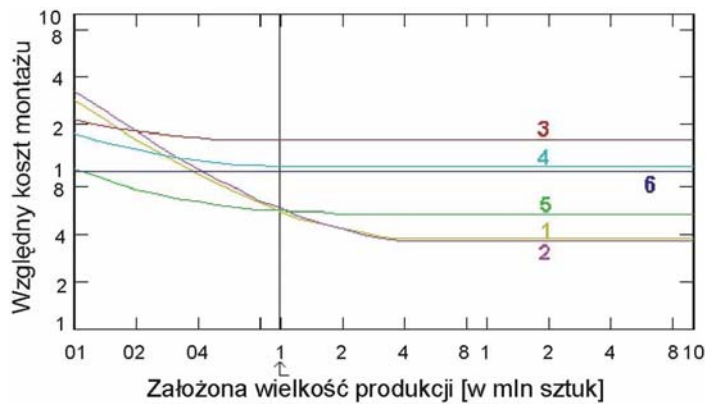
Tak określony koszt i czas montażu wyrobu są jedynie przybliżeniem służącym do wskazania systemów montażowych, które należy wziąć pod uwagę w dalszej analizie DFA. Przez zmianę danych wejściowych można analizować wpływ różnych czynników na obszary stosowania różnych systemów montażowych.

Tabela 2.1. Przykładowo wypełniona baza danych o przedsiębiorstwie

Koszty urządzeń montażowych (w tysiącach dolarów)	
Systemy jedno stanowiskowe	Urządzenia specjalnego przeznaczenia
• koszt stanowiska i oprzyrządowania dla:	• koszt głowicy z chwytakami
– montażu ręcznego 2,0	lub narzędziami 10,0
– montażu zrobotyzowanego 12,0	• koszt wymiennego chwytaka lub narzędzia robota 5,0
Systemy wielo stanowiskowe	Urządzenia ogólnego przeznaczenia
• koszty stanowiska wraz ze środkami transportu i sterowania:	• koszt robota razem z chwytakiem i sterowaniem:
– montaż ręczny 6,0	– jedno ramię, 4 stopnie swobody 80,0
– montaż automatyczny (synchroniczny) 10,0	– dwa ramiona, 4 stopnie swobody 150,0
– montaż automatyczny lub zrobotyzowany (asynchroniczny) 20,0	– jedno ramię, 6 stopni swobody 140,0
• koszt każdego dodatkowego bufora 1,0	Urządzenia podające
• koszt jednej palety 1,0	• automatyczne urządzenie podające:
	– proste urządzenie podające 2,0
	– oprzyrządowanie dla jednego typu części 5,0
	– magazyny lub palety dla jednej części 1,5
Dane o produkcji i personelu	
Koszty osobowe (dolarów/godzinę)	Warunki produkcji
• koszty robocizny:	• okres zwrotu nakładów (miesiące) 18
– monter 30,00	Podstawowe czasy pracy robotów
– technika obsługi 40,00	• podstawowy czas ruchu robota aby pobrać, umieścić część i wrócić (s) 3,0
– kierownik stacji montażu ręcznego 50,00	• dodatkowy czas na ostateczną orientację części (s) 2,0
Poziom nadzoru	Jakość części i czasy przestoju
• liczba stacji obsługiwanych przez jednego pracownika nadzoru dla:	• średnia liczba części na tysiąc, powodujących zatrzymanie 10
– montażu wielo stanowiskowego	• średni czas postoju 30
– montażu automatycznego/zrobotyzowanego 20	
– wielo stanowiskowego montażu ręcznego 40	
– jednego stanowiska montażu zrobotyzowanego 10	
– jednego stanowiska montażu ręcznego 30	

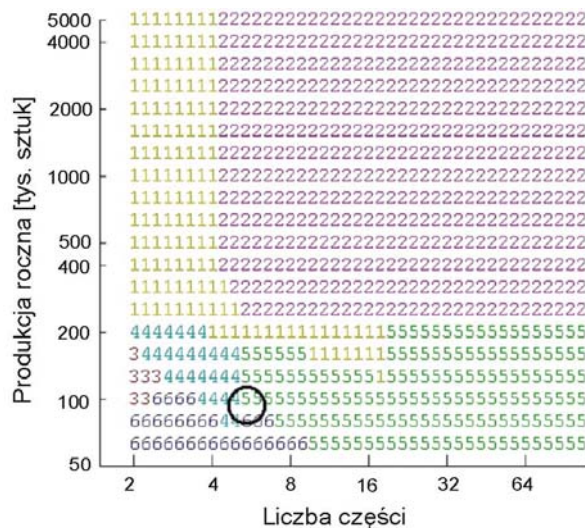
Tabela 2.2. Przykładowo wypełniona baza danych o wyrobie

Liczba części wyrobu w wersji podstawowej	6
Liczba części wyrobu we wszystkich wariantach	6
Planowana wielkość produkcji w ciągu roku	100 000
Założony czas produkcji (ile lat wyrób będzie produkowany)	3



Rys. 2.2. Względny koszt montażu wyrobu w zależności od produkcji rocznej dla danych z tabeli 2.1 i 2.2:

- 1 – automatyczna linia montażowa synchroniczna, 2 – automatyczna linia montażowa asynchroniczna,
 3 – gniazdo montażowe z jednym ramieniem robota, 4 – gniazdo montażowe z dwoma ramionami robota,
 5 – wielostanowiskowa zrobotyzowana asynchroniczna linia montażowa, 6 – montaż ręczny



Rys. 2.3. Przykładowy wykres obszarów zastosowania systemów montażowych dla danych z tabeli 2.1 i 2.2:

- 1 – automatyczna linia montażowa synchroniczna, 2 – automatyczna linia montażowa asynchroniczna,
 3 – gniazdo montażowe z jednym ramieniem robota, 4 – gniazdo montażowe z dwoma ramionami robota,
 5 – wielostanowiskowa zrobotyzowana asynchroniczna linia montażowa, 6 – montaż ręczny

Przykład doboru systemu montażowego

Planowana jest produkcja wyrobu około 100 tys. sztuk rocznie. Wyrób składa się z sześciu części. Okres zwrotu nakładów ma wynosić 2 lata. Wyrób ma być produk-

wany przez trzy lata. Wartości pozostałych danych zaczerpnięto z tabeli 2.1. Wyniki otrzymane z wykorzystaniem oprogramowania DFA firmy BDI dla tych danych przedstawiono na rysunkach 2.2 i 2.3 oraz w tabeli 2.3.

Tabela 2.3. Dobór systemu montażowego – wyniki

	System montażowy specjalnego przeznaczenia synchroniczny	System montażowy specjalnego przeznaczenia asynchroniczny	System montażowy jedno-stanowiskowy z jednym robotem	System montażowy jedno-stanowiskowy z dwoma robotami	Wielo-stanowiskowy asynchroniczny zrobotyzowany system montażowy
Oznaczenie na wykresie	1	2	3	4	5
Względny koszt montażu (montaż ręczny = 1)	0,55	0,57	1,54	1,05	0,56
Przybliżony czas montażu [s]	7	6	38	21	13
Zdolność produkcyjna [tys. sztuk]	1094	1220	192	337	571

Na podstawie wykresu doboru systemu montażowego (rys. 2.3) można stwierdzić, że dla założonych danych (liczba części – 6, produkcja – 100 tys. sztuk) zaleca się wykorzystanie jednego z trzech systemów: linia zrobotyzowana (5), stanowisko z dwoma robotami (4), montaż ręczny (6). Na takie wskazania miały wpływ dwie cechy wymienionych systemów: niewielki względny koszt montażu wyrobu oraz dostosowanie możliwości produkcyjnych systemu do deklarowanych potrzeb. Systemy 1 i 2 mają równie niewielki względny koszt montażu, lecz ich możliwości produkcyjne znacznie przerastają plany produkcyjne – maszyny większość czasu w ciągu roku byłyby niewykorzystane. Pomimo że możliwości systemów 4 i 5 również są większe od założonych, ich elastyczność jest znacznie większa i można je łatwiej dostosować do innego rodzaju produkcji.

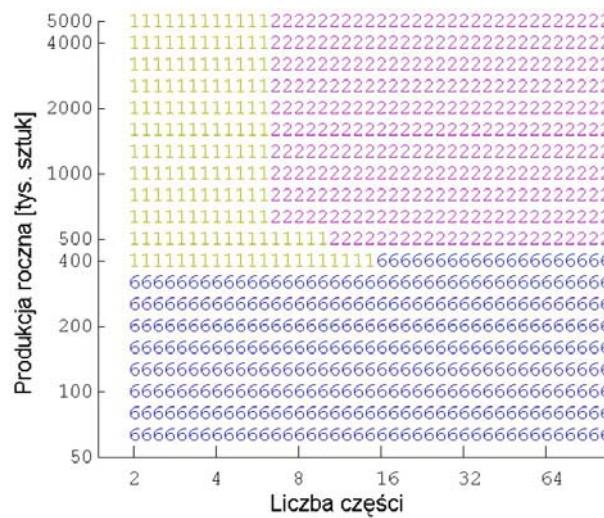
2.1.3. Przykład analizy doboru systemu montażowego

Przedmiotem analizy jest zawór kulowy (rys. 2.4), a jej celem określenie warunków, jakie muszą zostać spełnione aby można było zamienić montaż ręczny zaworu na montaż automatyczny lub zrobotyzowany. Analizę wykonano za pomocą oprogramowania oferowanego przez firmę Boothroyd Dewhurst, Inc.



Rys. 2.4. Zawór kulowy

Zawór składa się z dwunastu części i jest produkowany tylko w jednej wersji. Wielkość rocznej produkcji wynosi ok. 20 000 sztuk. Zawór ma być montowany na dwie zmiany przez 4 lata. Założony okres zwrotu nakładów inwestycyjnych wynosi 24 miesiące. Dane o przedsiębiorstwie zestawiono w tabeli 2.4.



Rys. 2.5. Obszary zastosowań systemów montażowych do montażu zaworu kulowego:

- 1 – automatyczna linia montażowa synchroniczna, 2 – automatyczna linia montażowa asynchroniczna,
- 3 – gniazdo montażowe z jednym ramieniem robota, 4 – gniazdo montażowe z dwoma ramionami robota,
- 5 – wielostanowiskowa zrobotyzowana asynchroniczna linia montażowa, 6 – montaż ręczny

Tabela 2.4. Dane o przedsiębiorstwie

Koszty urządzeń montażowych (w tysiącach dolarów)		
Systemy jedno stanowiskowe	Urządzenia specjalnego przeznaczenia	
• koszt stanowiska i oprzyrządowania dla:	• koszt głowicy z chwytakami lub narzędziami	
– montażu ręcznego	2,0	10,0
– montażu zrobotyzowanego	12,0	• koszt wymiennego chwytaka lub narzędzia robota
Systemy wielo stanowiskowe	5,0	
• koszty stanowiska wraz ze środkami transportu i sterowania:	Urządzenia ogólnego przeznaczenia	
– montaż ręczny	6,0	• koszt robota razem z chwytakiem i sterowaniem:
– montaż automatyczny (synchroniczny)	10,0	– jedno ramię, 4 stopnie swobody
– montaż automatyczny lub zrobotyzowany (asynchroniczny)	20,0	– dwa ramiona, 4 stopnie swobody
• koszt każdego dodatkowego bufora	1,0	– jedno ramię, 6 stopni swobody
• koszt jednej palety	1,0	140,0
	Urządzenia podające	
	• automatyczne urządzenie podające:	
	– proste urządzenie podające	2,0
	– oprzyrządowanie dla jednego typu części	5,0
	– magazyny lub palety dla jednej części	1,5
Dane o produkcji i personelu		
Koszty osobowe (dolarów/h)	Warunki produkcji	
• koszty robocizny:	• okres zwrotu nakładów (miesiące)	
– monter	4	24
– technika obsługi	5	Podstawowy czas pracy robotów
– kierownik stacji montażu ręcznego	7	• podstawowy czas ruchu robota, aby pobrać, umieścić część i wrócić (s)
Poziom nadzoru	3,0	
• liczba stacji obsługiwanych przez jednego pracownika nadzoru dla:	• dodatkowy czas na ostateczną orientację części (s)	
– montażu wielo stanowiskowego	2,0	
– automatycznego/zrobotyzowanego	20	
– wielo stanowiskowego montażu ręcznego	40	
– jednego stanowiska montażu zrobotyzowanego	10	
– jednego stanowiska montażu ręcznego	30	
	Jakość części i czasy przestoju	
	• średnia liczba części na tysiąc, powodujących zatrzymanie	10
	• średni czas postoju (s)	30

Pierwszym krokiem analizy jest dobór typu systemu montażowego. Wykres na rysunku 2.5 pokazuje obszary zastosowania podanych systemów montażowych do produkcji zaworu kulowego uzyskane dla przyjętych danych (tab. 2.4). Jak widać, dla tak małej produkcji ma zastosowanie jedynie montaż ręczny.

Dane o przedsiębiorstwie, które miały znaczący wpływ na ukształtowanie wykresów z rysunków 2.3 i 2.5, różnią się głównie kosztami osobowymi. Można zauważyć ich duży wpływ na wygląd i „urozmaicenie” wykresu.

Zastosowanie automatycznej linii montażowej (synchronicznej bądź asynchronicznej) będzie miało ekonomiczne uzasadnienie dla wielkości produkcji powyżej 400 tys. sztuk rocznie.

Tabela 2.5. Dobór systemu montażowego – wyniki

Typ systemu montażowego	Zdolność produkcyjna systemu montażowego [tys. sztuk/rok]	Dane główne: produkcja roczna/zwrot nakładów			
		20 tys. sztuk 72 miesiące	20 tys. sztuk 36 miesięcy	500 tys. sztuk 72 miesiące	500 tys. sztuk 36 miesięcy
		Względny koszt montażu	Względny koszt montażu	Względny koszt montażu	Względny koszt montażu
Automatyczny synchroniczny	1410	6,40	12,48	0,58	0,80
Automatyczny asynchroniczny	1953	7,33	14,40	0,55	0,83
Zrobotyzowany jedno ramię	153	4,05	5,10	3,30	3,30
Zrobotyzowany dwa ramiona	269	3,75	4,80	2,34	2,34
Zrobotyzowany wiele stanowisk	457	2,22	3,42	1,15	1,19

Na podstawie wyników analizy (tab. 2.5) można stwierdzić, że dla rocznej produkcji zaworu 20 tys. sztuk każdy rodzaj automatyzacji montażu jest nieopłacalny. Wynika to z niskiego stopnia wykorzystania urządzeń montażowych. Automatyzacja procesu staje się tutaj opłacalna przy produkcji rocznej około 400–500 tys. sztuk.

2.2. Ogólne zasady projektowania wyrobów zorientowanego na montaż

Jednym z istotnych kryteriów, które należy brać pod uwagę przy konstruowaniu wyrobów, jest łatwość montażu. Projektowanie wyrobów ze względu na łatwość montażu jest w literaturze powszechnie nazywana metodyką DFA. Można podać dziesięć ogólnych zaleceń, które powinny być przestrzegane w projektowaniu wyrobu ze względu na montażową technologiczność konstrukcji:

1. należy minimalizować liczbę części składowych przez ich eliminację lub łączenie ze sobą,
2. należy minimalizować liczbę płaszczyzn montażowych wyrobu tak, aby proces montażu odbywał się na możliwie najmniejszej liczbie płaszczyzn i aby wszystkie czynności na jednej płaszczyźnie mogły być zakończone przed przystąpieniem do montażu na następnej,
3. w konstrukcji wyrobu należy umożliwiać montaż „od góry”, tzn. przy wykorzystaniu sił grawitacji,

4. przy konstruowaniu należy pamiętać o ułatwianiu dostępu narzędzi do montowanego wyrobu,

5. należy zapewniać zgodność parametrów konstrukcyjnych części ze stawianymi im wymaganiami (specyfikacją techniczną, innymi słowy dobrą jakością wytwarzanych części),

6. należy dążyć do kształtowania symetrycznych części składowych, co ułatwia ich orientowanie i manipulowanie,

7. należy optymalizować cechy konstrukcyjne części ze względu na łatwość manipulowania:

- lepsze są części sztywne niż elastyczne,
- operacje manipulowania częściami ułatwiają odpowiednie powierzchnie chwytowe,
- konstruowanie w sposób uniemożliwiający zagnieżdżanie, zacinalanie się przedmiotu w czasie manipulacji,

8. należy unikać oddzielnych elementów mocujących (np. śruby, podkładki, wkręty, kołki itp.) lub przewodów (np. przewody hydrauliczne, elektryczne) przez ich integrację z elementami łączonymi lub zmianę wzajemnego rozmieszczenia części składowych wyrobu,

9. należy zaopatrywać części w charakterystyczne, zabezpieczające cechy konstrukcyjne, jak nacięcia, występy, które umożliwiają ich identyfikację oraz właściwą orientację podczas montażu,

10. w konstrukcji należy używać standardowych modułów i połączeń, co ułatwia ich zamienność oraz umożliwia szerszą ofertę wyrobów, szybszą modernizację, łatwiejsze testowanie i obsługę.

W literaturze podaje się liczne przykłady konstruowania wyrobów ze względu na łatwość montażu [4, 9, 11]. Niestety, zastosowanie wymienionych zasad w konstruowaniu wyrobów nie jest łatwe. Zwykle konstruktor nie dysponuje danymi, które mogłyby posłużyć do oceny proponowanego rozwiązania konstrukcyjnego pod względem łatwości montażu. W przypadku montażu ręcznego podstawową informacją jest czas montażu wyrobu.

Stosując metodykę DFA [2, 4, 5] można ocenić łatwość montażu oraz oszacować jego czas już na etapie konstruowania wyrobu. Metodyka ta zastosowana w formie oprogramowania komputerowego jest narzędziem projektowym, które umożliwia bieżąco oceniać zmiany konstrukcyjne pod względem ich wpływu na montaż wyrobu.

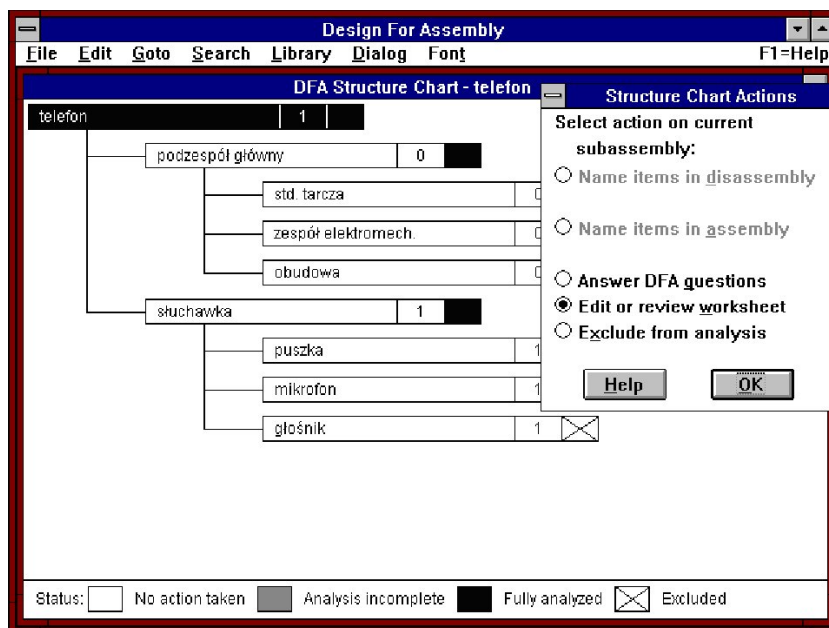
2.3. Analiza konstrukcji wyrobu z użyciem oprogramowania DFA

Komputerowy program oparty na metodyce DFA, opracowany przez *Boothroyd Dewhurst, Inc.*, pozwala na analizowanie i ocenę danego wyrobu pod względem łatwości montażu. Dobry pod względem montażu wyrób powinien mieć jak najmniej

części składowych, dzięki czemu ich łączenie jest mniej pracochłonne. Mniejsza liczba części wpływa również na redukcję prawdopodobieństwa wadliwego montażu, co przyczynia się do poprawy ogólnej jakości wyrobu.

Pierwszy etap analizy wyrobu pod względem łatwości montażu polega na sporządzeniu listy wszystkich części i operacji, które będą konieczne do jego poprawnego zmontowania. Na podstawie tej listy danych w programie tworzona jest struktura montowanego wyrobu. Przykładowo, na rysunkach 2.6 i 2.7, pokazano strukturę telefonu ujętą w arkuszu programu. Projektant modeluje proces montażu, wpisując w kolejności wszystkie kolejne zabiegi technologiczne, tzn. zarówno operacje montażu części i podzespołów, jak i dodatkowe operacje pomocnicze. Każdy element procesu montażu podlega klasyfikacji według następujących typów (rys. 2.7):

- montaż pojedynczej część,
- montaż elektronicznej płytki z obwodem drukowanym,
- montaż podzespołu,
- operacja standardowa,
- zmiana orientacji montowanego wyrobu,
- operacja zdefiniowana przez użytkownika,
- montaż części zdefiniowanej przez użytkownika w bazie danych.



Rys. 2.6. Struktura przykładowego wyrobu wprowadzona do arkusza programu DFA

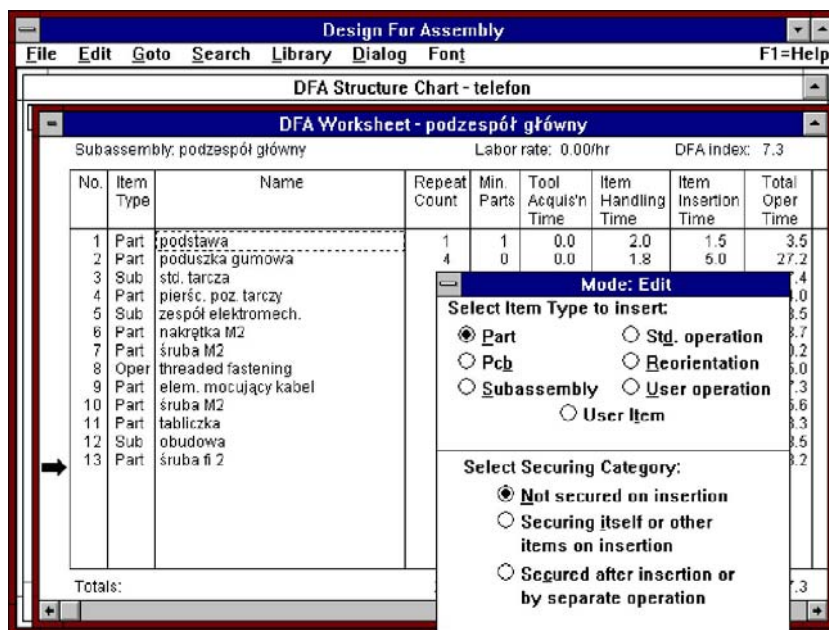
Dla każdej części wyrobu określa się sposób jej zamocowania według trzech kryteriów:

- część, która pozostaje nie zamocowana podczas kojarzenia części,
- część, która mocuje się sama lub przymocowuje inne części podczas kojarzenia,
- część, która będzie przymocowana po kojarzeniu lub podczas oddzielnej operacji.

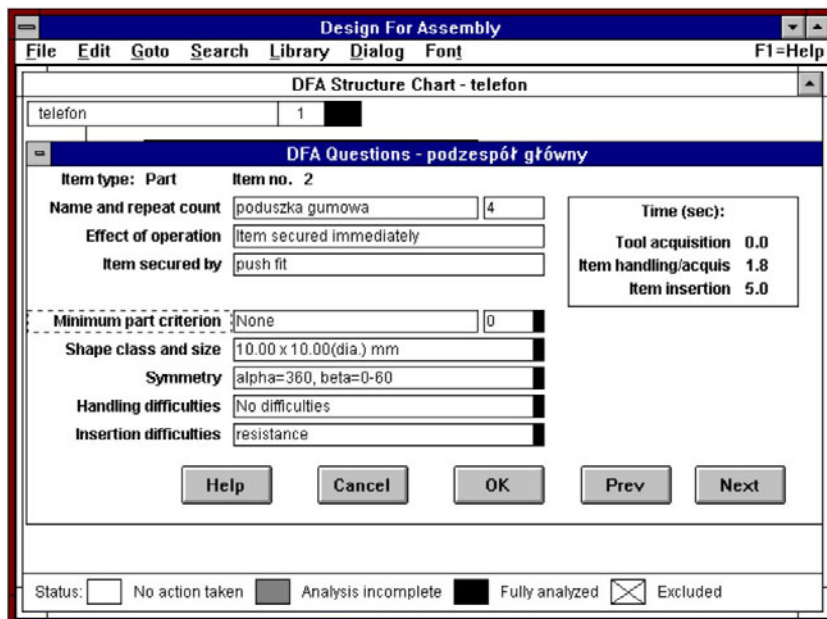
Oprócz standardowych operacji montażowych, zawartych w bazie danych programu, można stworzyć zindywidualizowane bazy danych części, operacji i podzespołów charakterystycznych dla danego przedsiębiorstwa lub wyrobu. Biblioteka operacji użytkownika pozwala projektantom na stworzenie własnej bazy, ze zdefiniowanymi wzorami służącymi do obliczania czasu trwania operacji.

Następnie każda część wyrobu poddawana jest analizie poprzez udzielenie odpowiedzi na tzw. „pytania DFA” (rys. 2.8):

- Czy część spełnia któreś z kryteriów minimalnej liczby części?
- Jaki jest jej kształt i wymiary?
- Jaka jest symetria części?
- Czy występują problemy przy manipulacji częścią podczas jej pobierania i przygotowania do montażu?
- Czy występują trudności w trakcie kojarzenia części?



Rys. 2.7. Okno dialogowe programu DFA definiujące w trybie Edit typ części/operacji i sposób mocowania części



Rys. 2.8. Okno z „pytaniami DFA”

Kryteria minimalnej liczby części zmuszają do zastanowienia się nad koniecznością występowania danej części w wyrobie. Części służące tylko do mocowania lub łączenia są uważane za zbędne – ich funkcje w wyrobie może przejąć np. jedna z łączonych części przez jej konstrukcyjne przystosowanie do realizacji tej funkcji, co może pociągać za sobą zmianę sposobu mocowania.

Podczas analizy należy stwierdzić, czy dana część spełnia któreś z podanych kryteriów (rys. 2.9):

- Czy ma się poruszać względem innych już zmontowanych części?
- Czy materiał z którego jest zrobiona część, musi być różny od materiału części już zmontowanych?
- Czy część musi występować oddzielnie ze względu na proces montażu lub demontażu innych niezbędnych części?

Jeśli część nie spełnia żadnego z podanych kryteriów, program DFA, sugeruje usunięcie jej, a jej funkcje, jeśli są istotne dla działania wyrobu, powinny przejąć części spełniające któreś z tych kryteriów. Program sygnalizuje decyzję dotyczącą eliminacji lub pozostawienia części przez wpisanie, odpowiednio, zera (eliminacja) lub jedynki (spełnione jedno z kryteriów) w polu kryterium minimalnej ich liczby (rys. 2.9). Identyfikator procedury analizy obowiązuje podczas analizowania części wyrobu dodawanych do bazy danych użytkownika.

Parametry dotyczące gabarytów części obejmują wymiary najmniejszego prostopadłościanu (dla części pryzmatycznych) lub najmniejszego walca (dla części obrotowych), w które można wpisać analizowany obiekt.

Minimum Part Count Information

Item has no function except for:

- Fastening or securing other items
- Connecting other items
- Or: Has other function

Item must be theoretically separate from all those already assembled because of:

- Relative movement
- Different material or isolation
- Assembly or disassembly of necessary items
- Or: None of these reasons apply

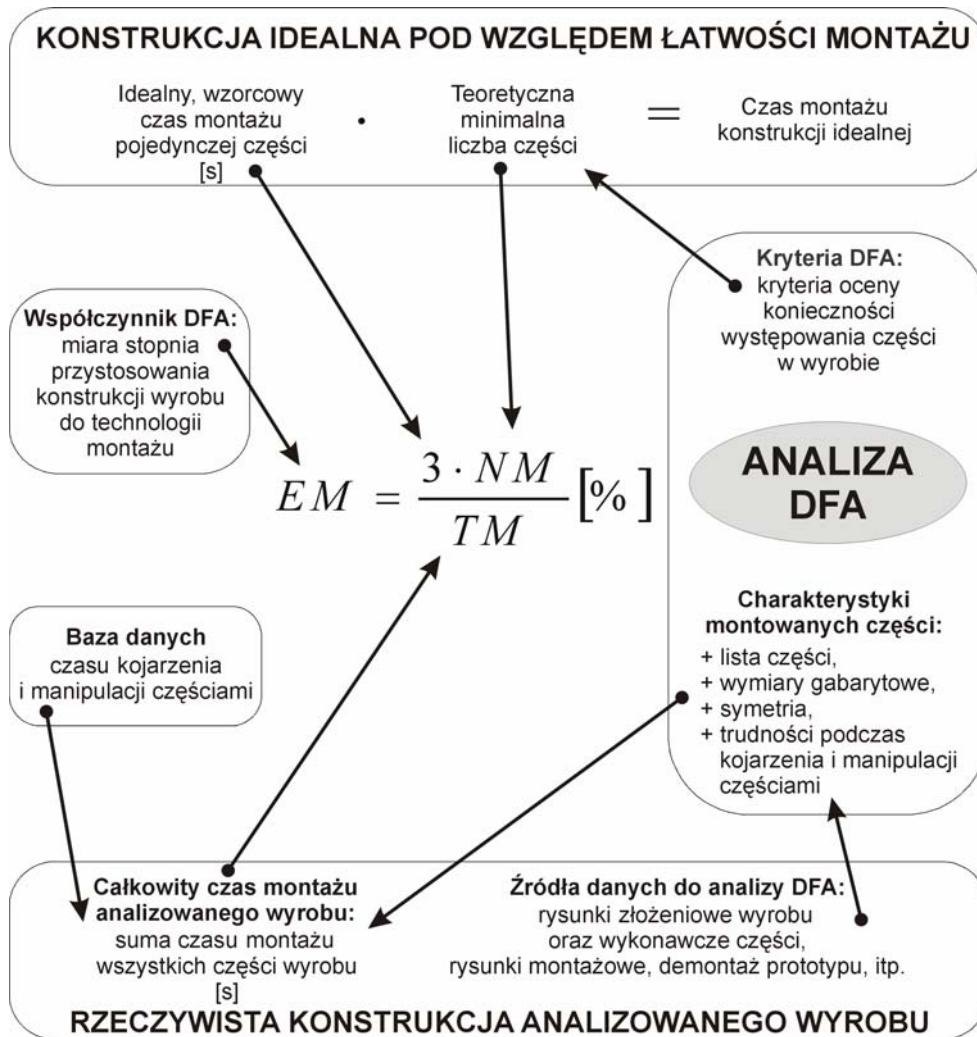
Part can be combined with a theoretically necessary part in its parent assembly

Help Cancel OK

Rys. 2.9. Pytania DFA dotyczące kryteriów minimalnej liczby części

Oprócz sugestii dotyczących redukcji liczby części, rezultaty analizy DFA dostarczają informacji na temat kosztów i efektywności montażu. Efektywność montażu mierzona jest za pomocą tak zwanego współczynnika DFA, obliczanego według algorytmu zaprezentowanego na rys. 2.10. Wskaźnik DFA umożliwia porównanie różnych wariantów wyrobu pod względem łatwości montażu. Koszt całkowity montażu jest odzwierciedleniem czasu jego realizacji, w skład którego wchodzi czas konieczny do manipulacji montowanymi częściami, ich kojarzenia oraz wykonywania standardowych i zdefiniowanych przez użytkownika operacji. Czas manipulacji i kojarzenia zostaje obliczony na podstawie podanych odpowiedzi na pytania DFA oraz danych doświadczalnych, tzn. zebranych w wyniku analizy czasu montażu przeprowadzonej w kilkuset przedsiębiorstwach amerykańskich. Dane te są zawarte w bazie danych zintegrowanej z programem DFA.

Program nie podaje gotowej recepty na zmianę konstrukcji wyrobu, umożliwia natomiast bardziej systematyczne podejście do analizy jego konstrukcji pod kątem montażu. Duże znaczenie ma tutaj możliwość tworzenia bazy danych standardowych części i operacji zdefiniowanych przez użytkownika, która wydatnie ułatwia analizę wyrobów.



Rys. 2.10. Schemat analizy konstrukcji wyrobu pod względem technologii montażu

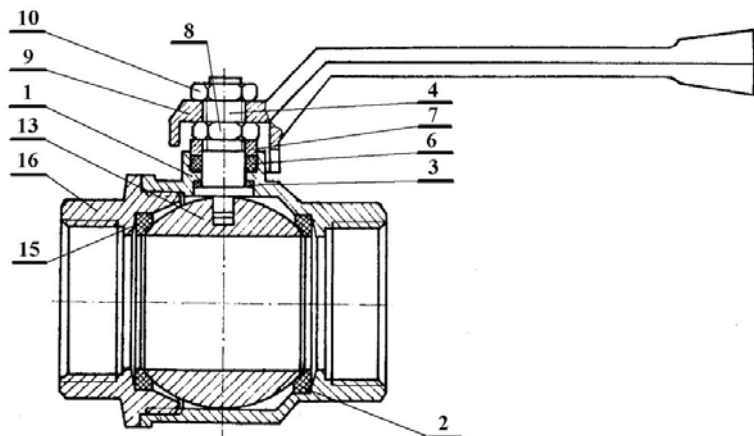
Zastosowanie oprogramowania DFA do analizy wyrobu zmusza konstruktora do rozważenia wszystkich możliwości redukcji liczby części składowych. Najważniejszymi wynikami analizy są współczynnik DFA oraz czas montażu wyrobu, które umożliwiają obiektywną ocenę korzyści wynikających z uproszczenia procesu technologicznego montażu. Analiza DFA, wykonywana w trakcie procesu konstruowania, umożliwia uwzględnienie głównych parametrów procesu montażu już we wczesnym stadium rozwoju wyrobu.

2.3.1. Przykład zastosowania analizy DFA

W analizie DFA uwzględnia się nie tylko wszystkie części wyrobu, ale również wszystkie czynności niezbędne do wykonania jego montażu, w tym czynności pobierania części z zasobników, czynności orientowania, przenoszenia itd. Czas potrzebny do wykonania analizy DFA wyrobu jest stosunkowo krótki, choć wymaga dokładnej obserwacji jego prototypu lub informacji odczytanych z rysunków złożeniowych, rysunków konstrukcyjnych pojedynczych części oraz rysunków instalacyjnych. Dzięki swojej systematyczności metoda DFA wymusza dogłębne poznanie funkcji wyrobu oraz sposobu jego działania.

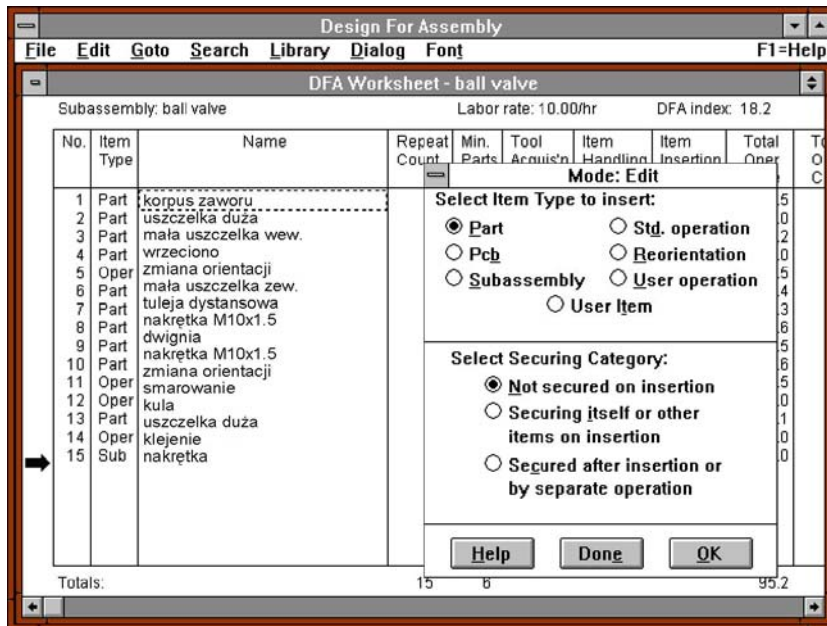
Procedura analizy konstrukcji polega na badaniu udziału każdej z części składowych wyrobu w zapewnieniu jego ogólnej funkcjonalności. Efektywność zastosowania metody DFA do projektowania została sprawdzona przez wykonanie wielu analiz różnorodnych wyrobów. Proces analizy według metody DFA przedstawiono tu na przykładzie analizy alternatywnych rozwiązań konstrukcyjnych zaworów kulowych (rys. 2.11).

Analizę rozpoczyna się od wprowadzenia nazwy wyrobu do arkusza programu DFA wspomagającego analizę. Następnie należy wprowadzić nazwy wszystkich części składowych i operacje procesu montażu niezbędne do uzyskania prawidłowo działającego wyrobu.



Rys. 2.11. Zawór kulowy produkowany w jednym z przedsiębiorstw w Polsce (numeracja części odpowiada numeracji zawartej w arkuszu DFA z rys. 2.12):

- 1 – korpus zaworu, 2 – uszczelka duża, 3 – mała uszczelka wewnętrzna, 4 – wrzeciono,
6 – mała uszczelka zewnętrzna, 7 – tuleja dystansowa, 8 – nakrętka M10 × 1,5, 9 – dźwignia,
10 – nakrętka M10 × 1,5, 13 – kula, 15 – uszczelka duża, 16 – nakrętka



Rys. 2.12. Maska programu DFA wraz z listą części analizowanego zaworu kulowego

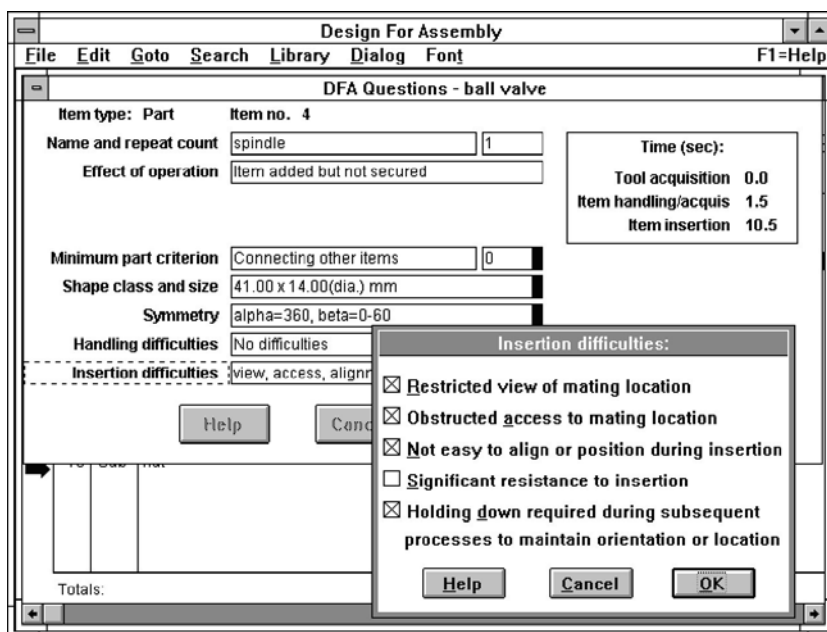
W przypadku zaworu kulowego pierwszą częścią wpisywaną do arkusza DFA jest korpus (część nr 1) (rys. 2.11). Kategoria części została w tym przypadku określona, jako „pojedyncza część” (part), a kategoria, ze względu na operację montażową, jako „część nie mocowana w trakcie procesu kojarzenia” (rys. 2.12). Drugą w kolejności częścią podlegającą montażowi jest duża uszczelka teflonowa (część nr 2), która została określona jako „pojedyncza część umocowana w trakcie kojarzenia”. Jednocześnie z bazy danych operacji montażowych wybrany został rodzaj operacji, dzięki której uszczelka jest mocowana „na wcisk”. W analogiczny sposób do arkusza DFA dodawane są kolejne części: mała wewnętrzna uszczelka (część nr 3) oraz wrzeciono (część nr 4). Aby móc kontynuować montaż zaworu, konieczna jest zmiana jego orientacji, dlatego też kolejnym elementem w arkuszu DFA jest operacja „zmiana orientacji” (pozycja nr 5). Zmiana orientacji ma na celu ułatwienie montażu kolejnych części, tzn. „małej zewnętrznej uszczelki” (część nr 6), „tulejki dystansowej” (część nr 7), „nakrętki” (część nr 8), „dźwigni” (część nr 9) oraz „nakrętki” (część nr 10). W celu umieszczenia kuli wewnątrz korpusu wymagana jest kolejna operacja „zmiana orientacji” (pozycja nr 11). Przed umieszczeniem kuli w korpusie zaworu konieczne jest pokrycie jej smarem, stąd z bazy użytkownika wybierana jest standardowa operacja „smarowanie”, która zostaje dodana do arkusza DFA.

W przypadku gdy nie można znaleźć określonej operacji montażowej w bazie danych, wtedy należy ją samemu zdefiniować, podając nazwę i czas trwania bądź

wzór, według którego czas ten będzie obliczany. Zbiór specjalnych operacji określonych przez użytkownika oraz zapisanych w bazie danych może być przydatny przy analizie innych podobnych wyrobów. W przypadku zaworu kulowego przykładową operacją, wchodzącą w zakres montażu, mogłaby być końcowa kontrola szczelności.

Wracając do montażu zaworu, kolejnym montowanym elementem jest kula (część nr 13), która została najpierw nasmarowana (operacja nr 12). Przed ostatecznym montażem dużej nakrętki zaworu (część nr 15) wykonywana jest operacja „klejenia” (operacja nr 14) dostępna w standardowej bazie danych operacji. Po operacji „klejenia” wkręcana jest duża nakrętka składająca się z nakrętki oraz dużej uszczelki teflonowej montowanej oddzielnie, stąd nakrętka traktowana jest jako „podzespół”.

Na podstawie powyższych danych tworzone jest hierarchiczne drzewo wyrobu, w którym umieszczone są wszystkie fizyczne części i operacje niezbędne do jego montażu.

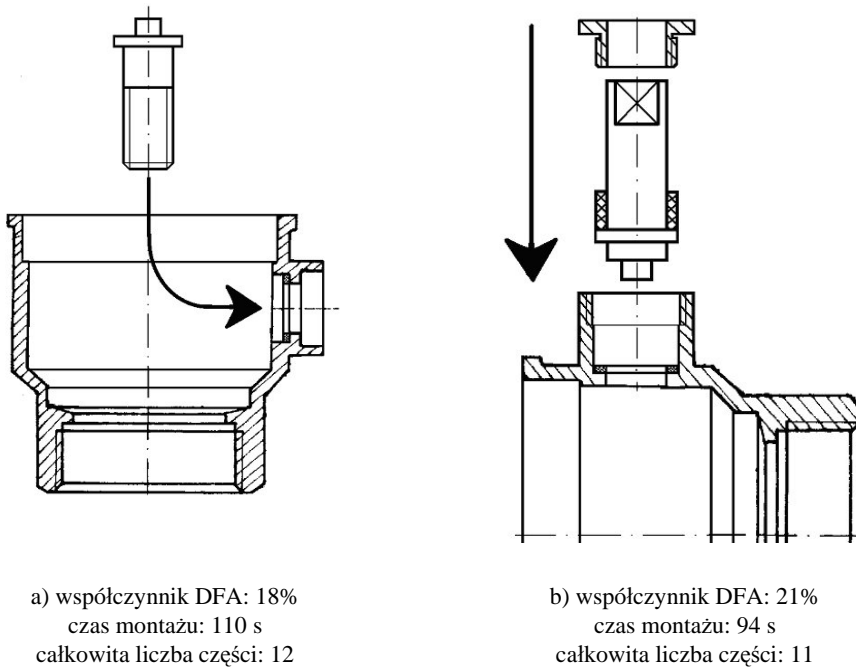


Rys. 2.13. Parametry opisujące części składowe wyrobu na przykładzie wrzeciona zaworu kulowego

Po zdefiniowaniu struktury procesu montażu wyrobu następuje najważniejszy fragment analizy konstrukcji, polegający na szczegółowym zbadaniu każdej z jego części składowych (rys. 2.13), zgodnie z wcześniej wymienionymi tzw. „pytaniami DFA”:

- Czy część spełnia jedno z kryteriów występowania w wyrobie?
- Jaki jest kształt części i jej wymiary?
- Jaka jest symetria części?
- Jakie występują trudności podczas manipulacji?
- Jakie występują trudności podczas kojarzenia?

Podczas analizy zaworu kulowego wykryto utrudnienia występujące w trakcie montażu wrzeciona (rys. 2.14a). Ze względu na ograniczoną widoczność oraz utrudniony dostęp do powierzchni kojarzenia (mała wewnętrzna uszczelka powoduje zaczepianie się o nią gwintu wrzeciona podczas łączenia), mogą wystąpić trudności przy pozycjonowaniu oraz orientowaniu części, co w rezultacie wydłuży czas montażu. Również automatyzacja montażu przy takim rozwiązaniu konstrukcyjnym będzie trudniejsza. W celach porównawczych przeprowadzono również analizę podobnego zaworu kulowego produkcji włoskiej. Analiza, poprzedzona demontażem wyrobu, ujawniła odmienny sposób mocowania wrzeciona oraz uszczelki, przy liczbie części zredukowanej o jedną (uchwyt zaworu mocowany jest pojedynczym wkrętem do wrzeciona) (rys. 2.14b).



Rys. 2.14. Porównanie montażu wrzeciona w dwóch rozwiązaniach konstrukcyjnych zaworów kulowych

Analiza DFA zapewnia całościową ocenę konstrukcji wyrobu w postaci współczynnika DFA (rys. 2.14a i 2.14b). Współczynnik DFA powstaje w wyniku porównania czasu montażu, tzw. „idealnej konstrukcji”, zawierającej „minimalną liczbę części”, z czasem montażu rzeczywistego wyrobu (rys. 2.10). Czas montażu rzeczywistego wyrobu obliczany jest na podstawie standardowej bazy danych czasu. Dane te powstały w wyniku wieloletnich badań statystycznych czasu ręcznego montażu. W zależności od określonych parametrów części, tzn. wymiarów gabarytowych, symetrii oraz ewentualnych trudności występujących w trakcie manipulacji i montowania, z bazy danych czasu standardowego wybierana jest odpowiednia wartość czasu montażu.

Idealny czas montażu powstaje w wyniku założenia, że w skład wyrobu powinny wchodzić tylko te części, które spełniają istotne zadania ze względu na funkcjonalność wyrobu [3]. Twórcy metodyki DFA, na podstawie badań, stwierdzili również, że idealny czas montowania części wynosi 3 sekundy. Wyodrębnienie minimalnej liczby części polega na określeniu roli, jaką dana część pełni w wyrobie. Jeśli polega ona jedynie na mocowaniu innych elementów, co występuje w przypadku wkrętów, podkładek sprężynujących, nitów itp. lub też przewodzeniu określonego medium między podzespołami wyrobu, jak w przypadku przewodów hydraulicznych lub elektrycznych, wtedy część uznawana jest za teoretycznie zbędną. Przykładowo częściami teoretycznie zbędnymi w zaworze są nakrętki 10 i 8 (rys. 2.11), których jedyną funkcją jest mocowanie dźwigni. Jeśli w trakcie analizy okazuje się, że montowana część może pełnić funkcję inną niż mocowanie bądź łączenie pozostałych elementów wyrobu, to do wyodrębnienia składu minimalnej liczby części stosuje się kryterium w postaci trzech pytań [2] wymienionych już wcześniej przy omawianiu rys. 2.9:

1. Czy część musi się poruszać względem wszystkich innych już zamontowanych części? Powinny być brane pod uwagę jedynie główne ruchy – niewielkie przemieszczenia, które mogą być wykonywane np. przez elementy elastyczne, nie są wystarczającym powodem do udzielenia pozytywnej odpowiedzi.

2. Czy część musi być wykonana z innego materiału lub musi być izolowana od wszystkich innych części już zmontowanych? Jedynie ważne powody związane z wymaganymi właściwościami materiałów upoważniają do udzielenia pozytywnej odpowiedzi.

3. Czy dana część musi być oddzielna, gdyż w przeciwnym razie niezbędne operacje montażu i demontażu byłyby niemożliwe?

Część składowa wyrobu może być, według metodyki DFA, uznana za niezbędną w konstrukcji, jeżeli przynajmniej jedna z udzielonych odpowiedzi będzie twierdząca. Wszystkie odpowiedzi negatywne świadczą o tym, że dana część nie ma bezpośredniego wpływu na realizację istotnych funkcji w wyrobie. W wyniku zastosowania podanych kryteriów, otrzymuje się teoretycznie minimalną liczbę części. Wszystkie pozostałe, przynajmniej teoretycznie, mogą zostać wyeliminowane lub połączone z częściami niezbędnymi. Jeśli dana część nie spełnia kryteriów zawartych w metodyce DFA, zespół projektowy musi przedstawić istotne powody dla jej wyodrębnienia w konstrukcji wyrobu.

Przykładowo, dla podanych kryteriów, tulejka dystansowa (rys. 2.11, część 7), została uznana za zbędną. Część ta nie wykonuje żadnego z głównych ruchów wynikających z funkcji wyrobu (otwieranie i odcinanie przepływu cieczy lub gazu), nie musi być również oddzielna ze względu na konieczność użycia innego materiału (niż np. materiał wrzeczona), ani też nie musi być oddzielna ze względu na możliwość montażu pozostałych części. Jediną jej rolą jest dociskanie zewnętrznej uszczelki teflonowej, a więc zabezpieczenie i mocowanie. Jednym z sugerowanych rozwiązań upraszczających byłaby integracja tulei (7) z nakrętką (8). Rozwiązanie takie zostało zastosowane w rozwiązaniu konkurencyjnym, gdzie nakrętka spełnia również rolę tulejki dociskowej (rys. 2.14b).

Przykładowymi częściami, które w oczywisty sposób są niezbędne ze względu na podane kryteria są: kula wykonująca ruch wynikający z jej funkcji (zamykanie i otwieranie zaworu), duża nakrętka zaworu (16) oraz wrzeczono (4), które muszą być oddzielne ze względu na możliwość montażu części wewnętrznych. W skład części niezbędnych wchodzi również wszystkie uszczelki oraz rączka dźwigni (9), spełniające kryterium wykonania z innego materiału niż pozostałe części składowe zaworu.

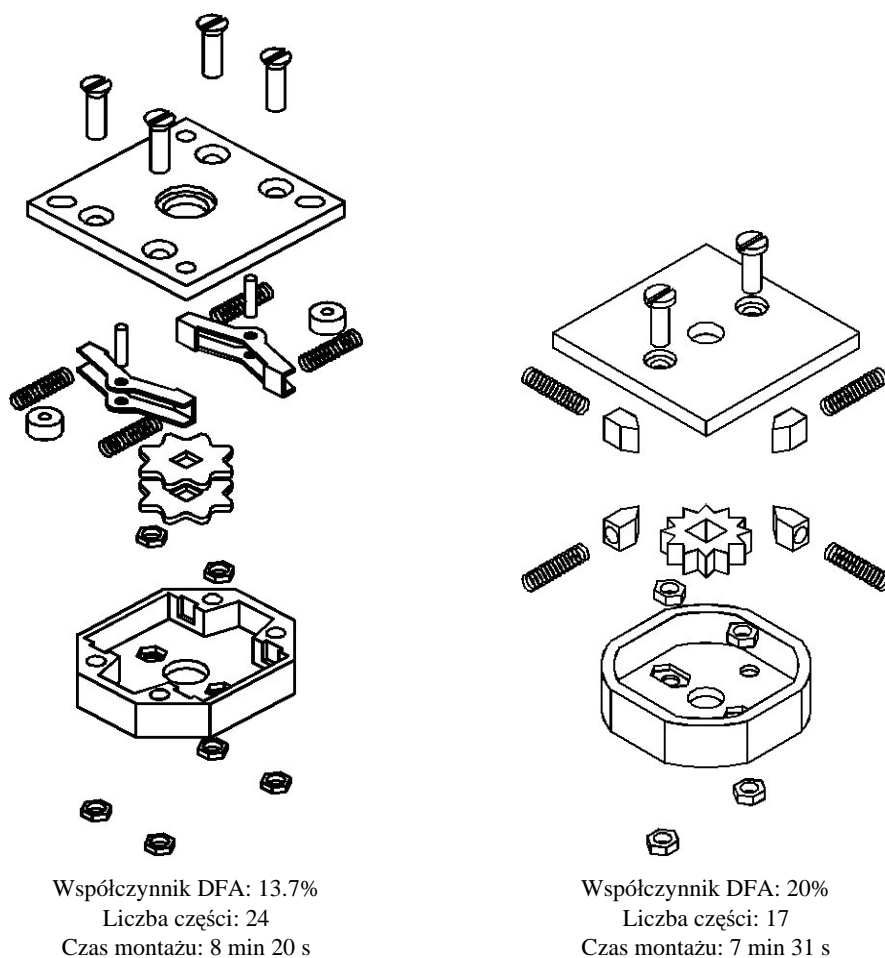
Różnice w konstrukcji, a tym samym w sposobie montażu wyrobu, ostatecznie uwidaczniają się w wartości współczynnika DFA (rys. 2.14). Im prostsza jest konstrukcja oraz montaż wyrobu, tym współczynnik DFA ma większą wartość. Wraz ze wzrostem współczynnika maleje również czas montażu. Współczynnik DFA pozwala na całościową ocenę rozwiązania konstrukcyjnego wyrobu pod względem montażu oraz funkcji pełnionych przez jego części składowe i można go zastosować jako jedno z ważnych kryteriów wyboru projektu wyrobu.

2.3.2. Przykładowe zastosowania metodyki DFA w procesie konstruowania wyrobów

Włącznik krzywkowy

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej prowadzono porównawczą analizę włączników krzywkowych (ŁK15) wykonaną dla dwóch wariantów jego rozwiązania produkcji jednej z polskich firm [7] (rys. 2.15). Zadaniem włączników jest ustalanie pozycji krzywek włączających określoną konfigurację połączeń elektrycznych, które są wymagane ze względu na zastosowany w maszynie typ silnika. Na rysunku 2.15 przedstawiono dwa warianty mechanicznego podzespołu włącznika wraz z krzywką i dźwigniami ustalającymi. Na uwagę zasługuje porównanie wyników analizy DFA, w tym przede wszystkim współczynnika DFA, liczby części składowych i czasu montażu. Stosunkowo mały współczynnik uzyskany dla pierwszego z wariantów (rys. 2.15a) wskazał możliwości uproszczenia wyrobu. W drugim wariantcie (rys. 2.15b) włącznika krzywkowego wprowadzono zmiany, które w znacznym stopniu uprościły zarówno samą konstrukcję wyrobu, jak i technologię jego montażu. Przede

wszystkim zmniejszono liczbę części o te, które nie spełniają żadnego z trzech kryteriów DFA. Przykładem może być mniejsza liczba wkrętów i nakrętek mocujących pokrywę oraz znaczące uproszczenie mechanizmu blokującego krzywkę. Zmiany konstrukcyjne wymagały również zmiany technologii wytwarzania niektórych z części składowych wyrobu. Przykładowo, krzywka w wariantcie pierwszym była wykonana w formie pakietu dwóch krzywek wycinanych z blach. Krzywka ta została zastąpiona pojedynczą krzywką wykonaną technologią formowania wtryskowego.



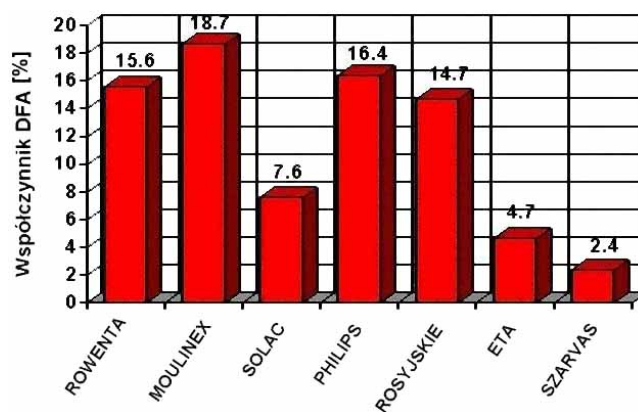
Rys. 2.15. Porównanie wyników analizy DFA dla włączników krzywkowych o różnej konstrukcji

Podany przykład praktycznego zastosowania metodyki DFA w projektowaniu wyrobu wskazuje na duże możliwości jej procedur do porównywania wielu jego wa-

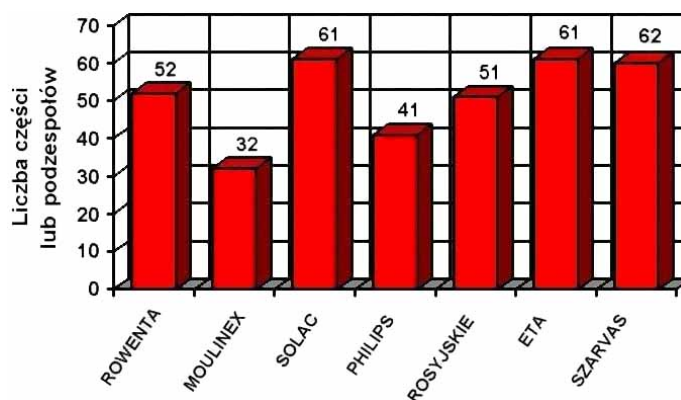
riantów. Analizie mogą być poddawane również wyroby firm konkurencyjnych, dzięki temu staje się możliwe porównanie wskaźników ich montażu ze wskaźnikiem dla rozwiązania własnego.

Żelazko

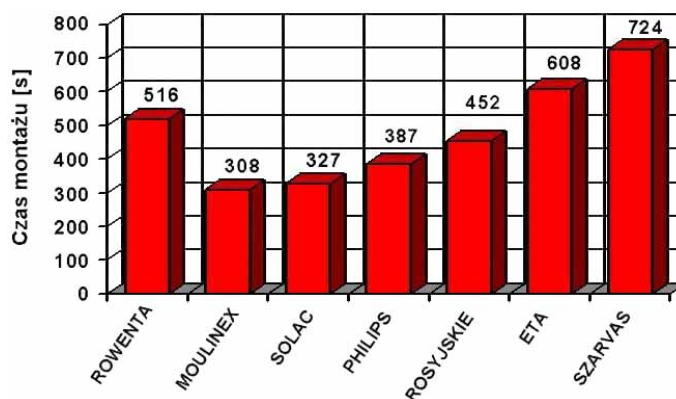
Na rysunkach 2.16, 2.17 i 2.18 przedstawiono wyniki zastosowania metodyki DFA do analizy konstrukcji żelazka produkowanego przez węgierską firmę Szarvas [3]. Aby uzyskać obiektywną ocenę przystosowania konstrukcji do montażu ręcznego, wykonano analizę DFA dla kilku konkurencyjnych żelazek. Uzyskane wyniki w postaci współczynnika DFA (rys. 2.16), liczby części i podzespołów (rys. 2.17) oraz szacowanego czasu montażu (rys. 2.18) wyraźnie wskazują na małą efektywność procesu montażu w porównaniu z konstrukcjami konkurencyjnymi.



Rys. 2.16. Zestawienie współczynników DFA otrzymanych w wyniku analizy konstrukcji konkurencyjnych żelazek [3]

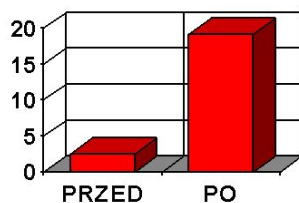


Rys. 2.17. Zestawienie liczby części lub podzespołów [3]

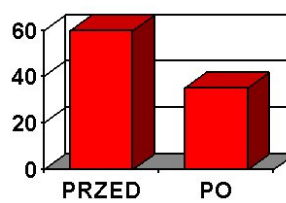


Rys. 2.18. Zestawienie czasu montażu [3]

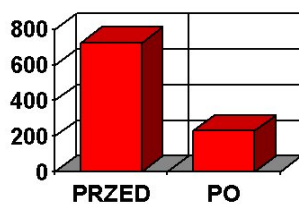
Wykorzystując metodykę DFA przeprowadzono projekt, którego celem była taka zmiana konstrukcji żelazka, aby przy zachowanej funkcjonalności nastąpiła wyraźna poprawa efektywności jego montażu. W wyniku wprowadzonych zmian współczynnik DFA został podniesiony z 2,4% do 19%. Znaczącej poprawie uległy również inne parametry, m.in. masa, liczba części składowych, całkowity czas montażu (rys. 2.19). Można oczekiwać, że w wyniku uproszczenia struktury wyrobu zwiększyła się również jego niezawodność.



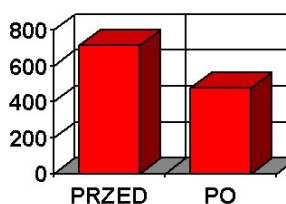
Współczynnik DFA [%]



Liczba części składowych żelazka



Czas montażu [s]

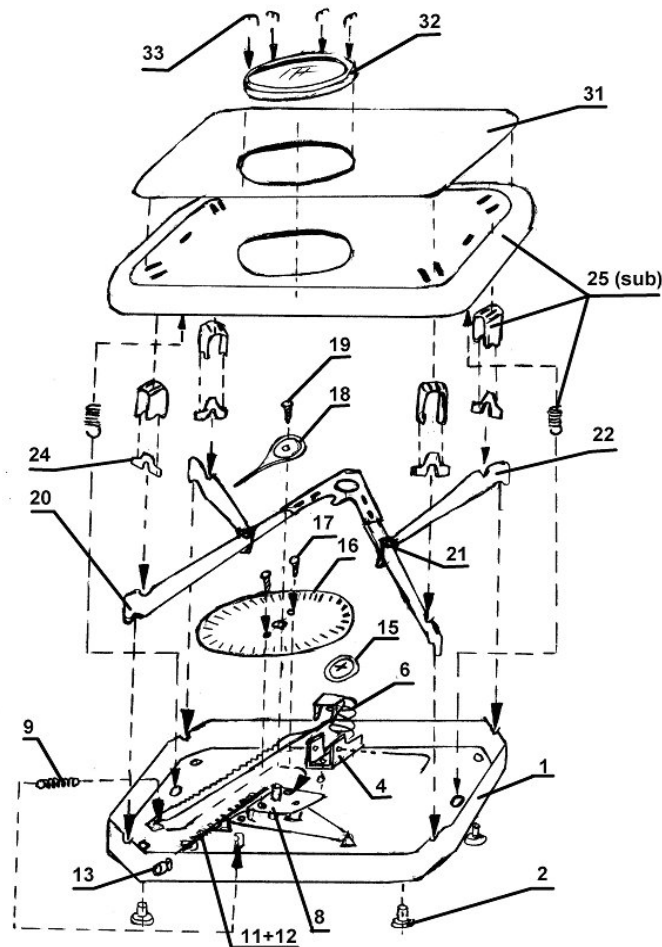


Ciężar [g]

Rys. 2.19. Porównanie wyników analizy DFA dla konstrukcji żelazka przed i po wprowadzeniu zmian konstrukcyjnych [3]

Waga łazienkowa

Jednym z głównych zadań projektowania jest tworzenie nowych konstrukcji oraz badanie technicznych i ekonomicznych możliwości ich wytwarzania. Wyniki analizy DFA wyrobu nie tworzą gotowych rozwiązań konstrukcyjnych. Do tego wymagane jest doświadczenie, wiedza, umiejętności oraz twórcza postawa projektantów. Proponowana konstrukcja ma bardzo duży wpływ na technologię wytwarzania wyrobu.



Rys. 2.20. Szkic struktury montażu wagi
(numeracja odpowiada numeracji w arkuszu DFA z rys. 2.24) [10]

Przykładem mogą być analizy wagi łazienkowej, wykonane przez zespoły studentów oraz opiekunów naukowych pochodzących z kilku krajów. W każdym z projektów w pierwszym etapie wykonano analizę DFA. Dokonano demontażu wagi oraz

skonfrontowano kolejność montażu z kolejnością podaną przez producenta. Na tej podstawie stworzono schemat montażu wyrobu (rys. 2.20). Następnie struktura konstrukcyjna wagi została wprowadzona do aplikacji komputerowej DFA (rys. 2.21). Uzyskano następujące wyniki:

- całkowity współczynnik DFA – 15,5%,
- całkowity czas montażu – 334 s (5,6 min).

Lp.	Rodzaj	Nazwa	Krot-ność	Kryterium liczby części	Pobieranie narzędzia [s]	Czas manipulacji [s]	Czas łączenia/zabiegu [s]	Czas całkowity [s]	Koszt robocizny \$
1	Część	podstawa	1	1	0,0	1,95	1,5	3,5	0,03
2	Część	stopka	4	0	0,0	1,50	5,0	26,0	0,22
3	Operacja	reorientacja	1	-	-	-	4,5	4,5	0,04
4	Podzespół	mechanizm centralny	1	0	0,0	1,95	1,5	3,5	0,03
5	Operacja	zaginanie	1	-	2,9	-	3,3	6,2	0,05
6	Część	sprężyna główna	1	1	0,0	1,84	1,5	3,3	0,03
7	Operacja	zaginanie	1	-	2,9	-	5,5	8,4	0,07
8	Podzespół	mechanizm wskazówki	1	0	0,0	1,95	1,5	3,5	0,03
9	Część	sprężyna długa	1	1	0,0	1,13	1,5	2,6	0,02
10	Operacja	zatrask	1	-	0,0	-	1,8	1,8	0,01
11	Część	śruba	0	0	0,0	2,51	3,0	5,5	0,05
12	Część	sprężyna napinająca	1	1	0,0	1,13	3,0	4,1	0,03
13	Część	pokrętło	1	0	0,0	1,50	5,0	6,5	0,05
14	Operacja	dokręcanie	1	-	0,0	-	5,7	5,7	0,05
15	Część	pokrywka	1	0	0,0	1,95	1,5	3,5	0,03
16	Część	tarcza	1	0	0,0	2,51	1,5	4,0	0,03
17	Część	wkręt	2	0	2,9	2,55	5,7	19,4	0,16
18	Część	wskazówka	1	0	0,0	1,95	5,0	6,9	0,06
19	Część	wkręt	1	0	2,9	1,80	3,6	8,3	0,07
20	Część	dźwignia	1	1	0,0	1,95	3,0	4,9	0,04
21	Część	węzły	2	2	0,0	1,50	3,0	9,0	0,08
22	Część	ramiona	2	2	0,0	1,95	3,0	9,9	0,08
23	Operacja	zerowanie	1	-	2,0	-	-	2,0	0,02
24	Część	kamień	4	4	0,0	2,36	1,5	15,4	0,13
25	Podzespół	pokrywa górna	1	1	0,0	1,95	1,5	3,5	0,03
26	Operacja	reorientacja	1	-	-	-	4,5	4,5	0,04
27	Operacja	mocowanie sprężynami	1	-	20,0	-	-	20,0	0,17
28	Operacja	reorientacja	1	-	-	-	4,5	4,5	0,04
29	Operacja	zerowanie	1	-	2,0	-	-	2,0	0,02
30	Operacja	testowanie wagi	1	-	25,0	-	-	25,0	0,21
31	Część	wyściółka	1	1	0,0	6,35	4,0	10,4	0,09
32	Część	okienko	1	1	0,0	1,50	1,8	3,3	0,03
33	Część	znacznik	5	0	0,0	1,95	1,8	18,8	0,16
34	Operacja	czyszczenie i pakowanie	1	-	12,0	-	-	12,0	0,10

Rys. 2.21. Struktura montażu wagi wpisana do programu DFA [10]

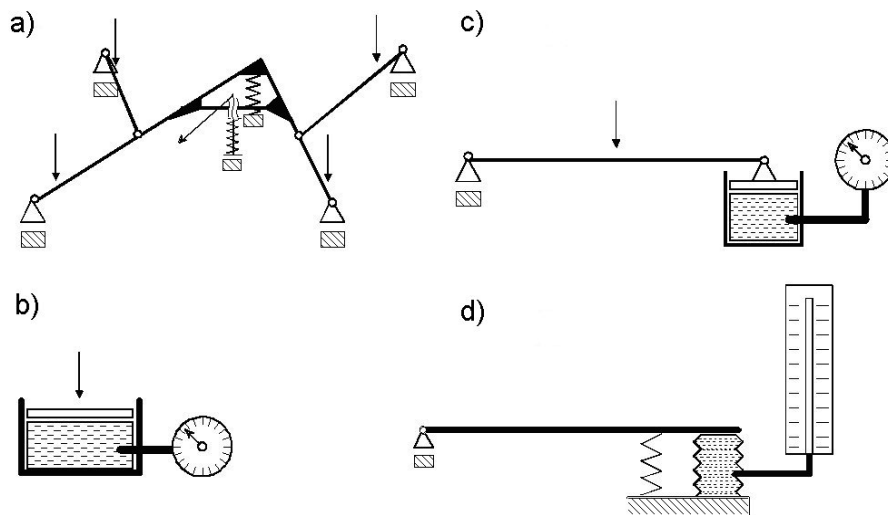
Uzyskany z analizy DFA czas montażu okazał się stosunkowo bliski czasowi podanemu przez producenta (4 min). Współczynnik DFA sugerował możliwości uproszczenia konstrukcji wyrobu. W tym celu każda z grup projektowych niezależnie zaproponowała zarówno drobne zmiany konstrukcyjne, jak i nowe koncepcje budowy wag.

Proponowane zmiany budowy wagi:

- uproszczenie mechanizmu wskazówkowego przez zastosowanie śruby niesamohamownej (rys. 2.22a); ruch górnej części wagi podczas ważenia jest zamieniany za pomocą tej śruby na ruch obrotowy wskazówki, a ruch powrotny realizuje sprężyna pomocnicza; wadą tego rozwiązania jest krzywoliniowy ruch ramy, w której byłaby umieszczona nakrętka,

- zamiana mechanizmu wskazówkowego na układ hydrauliczny (rys. 2.22c), w skład którego wchodzi: manometr, przewód doprowadzający, tłoczek, elastyczny mieszek z cieczą; pod obciążeniem następuje wzrost ciśnienia cieczy w mieszku, wskazywany przez manometr; aby umożliwić bezpośredni odczyt, manometr powinien być wyskalowany w kilogramach, wadą tego rozwiązania jest możliwość zapowietrzenia układu podczas montażu,

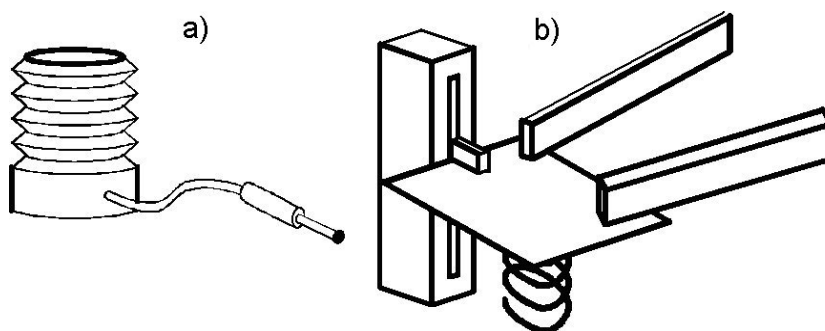
- całkowite wyeliminowanie układu mechanicznego i zastąpienie go układem hydraulicznym (rys. 2.22b); zasada działania i odczyt wskazań bardzo podobny do propozycji poprzedniej; wadą jest trudność w wyeliminowaniu wpływu nierównomiernego obciążenia wagi i tarcia na wskazania manometru,



Rys. 2.22. Proponowane przez zespół polski zmiany zasad działania niektórych mechanizmów wagi [10]

- zamiana mechanizmu wskazującego na układ naczyń połączonych (rys. 2.22d), składający się z: skali, kapilary, przewodu doprowadzającego, zbiornika z zabarwioną cieczą; wadą są stosunkowo duże rozmiary kapilary, możliwość parowania cieczy, wrażliwość na wstrząsy i temperaturę,

- wprowadzenie, zamiast mechanizmu mechanicznego, prostego układu hydraulicznego (rys. 2.23a); miarą wagi jest ilość wypchniętej pod obciążeniem cieczy ze zbiornika; wypchnięta ciecz porusza tłok w cylindrze a przesunięcie tłoka może być przetworzone na wskazanie wagi – ruch powrotny odbywa się za pomocą sprężyny; możliwe problemy to: szczelność układu oraz zależność wskazań od temperatury,



Rys. 2.23. Warianty mechanizmu centralnego wagi zaproponowane przez studentów z USA [10]

- połączenie mechanizmu mechanicznego z układem elektrycznym (rys. 2.23b): siły są przenoszone przez układ ramion do centralnej platformy wagi opartej na sprężynie; do platformy jest przymocowany suwak potencjometru liniowego, a jej ruch powoduje przesunięcie suwaka i zmianę wskazań wagi; możliwe problemy to sposób zamiany napięcia na wyjściu potencjometru na wskazania wagi oraz konieczność jej wyposażenia w zasilanie elektryczne.

Podane przykłady koncepcji wskazują, iż głównym kryterium, stosowanym przy tworzeniu rozwiązań konstrukcyjnych, była prostota wyrobu oraz minimalizacja liczby części składowych. Różnorodność rozwiązań proponowanych przez niezależne zespoły stosujące metodykę DFA wskazuje na dużą rolę tworzenia pomysłów i koncepcji nowego wyrobu, które w rezultacie decydują o liczbie części składowych i łatwości montażu. Twórcze umiejętności projektantów mają największe znaczenie podczas poszukiwania innowacyjnych rozwiązań projektowych.

Doświadczenia uzyskane podczas wdrażania metodyki DFA sugerują, iż szkolenie wielodyscyplinarnych zespołów projektowych w tym zakresie może mieć korzystny wpływ na współpracę między konstruktorami, technologami a kierownikiem zespołu projektowania wyrobu. Efektywne wykorzystanie metodyki DFA wymaga zburzenia tradycyjnego rozdziału między technologią a konstruowaniem. Oznacza to, iż kon-

strukturzy muszą zasięgać rady technologów, tak aby projektowane konstrukcje wyrobów odznaczały się dużym stopniem technologiczności. Technolodzy produkcji natomiast powinni dostarczać projektantom informacji na temat możliwości dostępnej technologii, choć nie powinni się oni domagać priorytetowego traktowania kryteriów wytwórczych względem na przykład kryteriów funkcjonalnych czy rynkowych, od których zależy sukces wyrobu. Wykonanie analizy DFA może być jednym ze sposobów obiektywnej oceny rozwiązań konstrukcyjnych ze względu na technologię montażu. Obliczony współczynnik DFA pozwala również kierownikom zespołów projektowania wyrobu na obiektywną ocenę proponowanego przez konstruktorów rozwiązania, bez zbyt czasochłonnego zagłębiania się w jego szczegóły.

Uproszczenie konstrukcji wyrobu i zwiększenie łatwości jego montażu powoduje wiele pośrednich korzyści. Prostsze wyroby oznaczają również prostszą dokumentację konstrukcyjną i wytwarzanie, prostszy obieg materiałów w trakcie produkcji oraz mniejsze koszty związane z magazynowaniem dodatkowych części wyrobu.

Wśród pośrednich korzyści, wynikających ze stosowania metodyki DFA w trakcie procesu konstruowania, należy również wymienić poprawę jakości wyrobów. Badania wykazały [6, 8, 10], że im większy jest współczynnik DFA obliczony dla konstrukcji, tzn. im mniej zawiera części oraz im krótszy jest czas montażu, tym mniejsze jest prawdopodobieństwo wystąpienia błędów.

Literatura

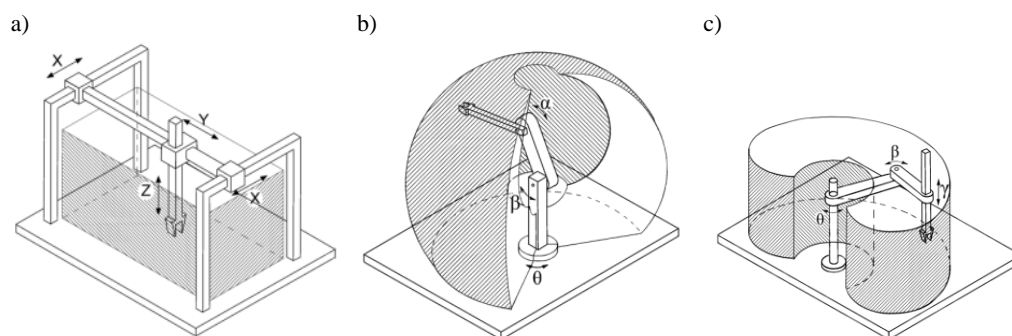
- [1] Boothroyd G., Dewhurst P., *Design for Assembly Toolkit*, instrukcja obsługi, Kingston 1991.
- [2] Boothroyd G., Dewhurst P., *Product Design for Assembly*, Boothroyd Dewhurst Inc., USA 1991.
- [3] Boothroyd G., *A Decade of DFMA Research*, Proc. DFMA Conf., Newport, University of Rhode Island 1994.
- [4] Boothroyd G., Dewhurst P., *Design For Assembly in Action*, Assembly Engineering, Hitchcock Publishing Co., January 1987
- [5] Boothroyd G., *Assembly Automation and Product Design*, Marcel Dekker, Inc. New York 1992.
- [6] Branan B., *DFA Cuts Assembly Defects by 80%*, Appliance Manufacturer, November 1991, Corcoran Communications, Inc. USA 1991.
- [7] Chrapek K., *Metodologia projektowania wyrobów zorientowana na montaż. Praca Dyplomowa*, Promotor: Tomasz Koch, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.
- [8] Porter C., Knight W., *DFA for Assembly Quality Prediction during Early Product Design*, Conference Proceedings: A Decade of DFMA Research. The 1994 International Forum on Design for Manufacture and Assembly, June 13&14, Newport, Rhode Island, USA 1994.
- [9] Puff T., Sołtys W., *Podstawy technologii maszyn i urządzeń WNT*, Warszawa 1980.
- [10] Raport, *Guide for Improving the Manufacturability of Industrial Products*, Lyngby, Institute for Product Development (IPU), Eureka 1994.
- [11] Richter E., Schilling W., Weise M., *Montaż w budowie maszyn*. WNT, Warszawa 1980.

3. Roboty montażowe

3.1. Wymagania stawiane robotom montażowym

Montaż, oprócz zgrzewania punktowego, jest jednym z dwu głównych obszarów stosowania robotów przemysłowych. Wynika to z czynników ekonomicznych (masowa produkcja wielu powtarzalnych wyrobów, znaczenie poprawnego montażu dla właściwego działania wyrobu) oraz charakteru samego procesu w odniesieniu do człowieka (zestawienie monotonii z wymaganiem dużej precyzji pracy). Robot w procesie montażu wykonuje najczęściej następujące zadania:

- podawanie i odbieranie części z pojemników, przenośników, urządzeń sortujących i palet,
- współpraca z automatami montażowymi i innymi urządzeniami technologicznymi (malującymi, klejącymi, lutującymi, znakującymi itp.),
- montaż części wyrobu,
- wykonywanie operacji łączenia (wciskanie, nitowanie, zgrzewanie punktowe i liniowe itp.),
- odkładanie i transportowanie zmontowanych wyrobów.



Rys. 3.1. Kinematyka i kształt przestrzeni roboczej typowych robotów montażowych:

a) manipulator kartezyjski, b) robot PUMA, c) robot SCARA

Realizacja podanych zadań jest zapewniana przez właściwą konstrukcję układu kinematycznego, zestawy narzędzi i oprzyrządowania technologicznego oraz układu sterowania. Robot montażowy powinien mieć następujące właściwości [2]:

- możliwość automatycznej wymiany chwytaków i narzędzi montażowych,
- szeroki zakres prędkości przemieszczeń członu roboczego,
- możliwość adaptacji do określonych warunków chwytania i łączenia części (stosowanie czujników połączonych z układem sterowania i sprzężonych zwrotnie z układami wykonawczymi),
- możliwość kontroli jakości montażu,
- dokładność pozycjonowania lub obecność mechanizmów umożliwiających kompensację błędów w trakcie łączenia części.

W konstrukcji manipulatora robota jest wykorzystywana najczęściej jedna z trzech kinematyk (rys. 3.1, tab. 3.1), najlepiej dostosowanych do charakteru zadań montażowych:

1. Manipulator kartezjański – jego trzy pierwsze osie są przesuwne i najczęściej położone prostopadle względem siebie. Taka konfiguracja znacznie ułatwia sterowanie, ponieważ wysunięcia członów ruchowych są równoznaczne ze zmianą położenia końcówki względem podstawy. Robot ten wymaga dużej powierzchni do zainstalowania, a jego konstrukcja utrudnia bezpośrednią współpracę z innymi robotami tego typu. Ze względu na niski koszt zakupu jest często stosowany w systemach produkcyjnych.

2. Robot o równoległych poziomych osiach obrotu (PUMA – *Programmable Universal Manipulator for Assembly*) – jego struktura kinematyczna preferuje go do wykonywania głównych ruchów roboczych w kierunku pionowym. Pod względem ruchliwości struktura tego robota przypomina ramię człowieka (kinematyka antropomorficzna) i jest równie elastyczna pod względem możliwych do wykonania ruchów. Ze względu jednakże na skomplikowany opis matematyczny robot wymaga wydajnego układu sterowania.

3. Robot o równoległych pionowych osiach obrotu (SCARA – *Selectively Compliance Assembly Robot Arm*) – układ kinematyczny ma bardzo dużą sztywność w kierunku osi z , co jest korzystne przy przenoszeniu relatywnie ciężkich przedmiotów w poziomie. Robot tego typu jest bardzo szybki w ruchach poziomych, dzięki czemu uzyskuje się bardzo krótkie cykle pracy.

Tabela 3.1. Właściwości typowych układów kinematycznych robotów montażowych [3, 4]

Układ	Kartezjański	SCARA	PUMA
Powierzchnia posadowienia	duża	mała	mała
Czas realizacji cyklu pracy	stosunkowo wolno	bardzo szybko	szybko
Liczba stopni swobody	3–4	4–5	6
Cena	niska	relatywnie niska	wysoka
Główne zastosowanie	montaż, manipulacja	montaż, manipulacja	montaż, manipulacja, spawanie

Koszty zakupu robota przemysłowego wraz z oprzyrządowaniem są znaczne. Aby czas zwrotu kosztów inwestycji był jak najkrótszy, podczas projektowania procesu montażu powinny być rozpatrzone następujące czynniki decydujące o kosztach stosowania robotów:

- przystosowanie konstrukcji wyrobu, jego części i stosowanych połączeń do wymogów montażu zrobotyzowanego,
- normalizacja, typizacja i unifikacja: wyrobów, procesów technologicznych, układów i mechanizmów robotów przemysłowych, narzędzi i oprzyrządowania montażowego, urządzeń współpracujących z robotem przemysłowym,
 - stosowanie niezawodnych układów sterowania,
 - duża niezawodność i trwałość robota wraz ze sterowaniem,
 - dokładność pozycjonowania określona wymaganiami procesu,
 - prosta procedura programowania i nauczania.

Do realizacji zadań montażowych robot wykorzystuje narzędzia mocowane na końcu łańcucha kinematycznego. W przypadku montażu największą grupę narzędzi stanowią chwytaki, a pewnym ich uzupełnieniem są narzędzia specjalne do wykonywania operacji łączenia. Dobór chwytaka zależy od zadania, jakie ma wykonać robot, stąd wielka różnorodność standardowych narzędzi oraz częsta potrzeba konstruowania chwytaków specjalnych.

Oprócz chwytaków do końcówki robota montowane są inne urządzenia wspomagające jego pracę. Zostały one, wraz z chwytakami, omówione w rozdziale 3.2, a są to:

- urządzenia antykolizyjne,
- urządzenia wspomagające pozycjonowanie,
- urządzenia umożliwiające automatyczną wymianę chwytaków.

Wymienione wyposażenie jest niezbędne do właściwej pracy robota, ponieważ zabezpiecza jego kinematykę oraz przedmiot pracy przed błędami człowieka oraz zwiększa elastyczność jego pracy. Należy jednak pamiętać, że masa dodatkowych urządzeń wraz z masą przemieszczanych części nie powinna przekraczać dopuszczalnego obciążenia.

3.2. Robot o kinematyce SCARA

Nazwa SCARA jest określeniem rodzaju kinematyki stosowanej w konstrukcji robotów wielu producentów. Przeznaczeniem robotów o kinematyce SCARA jest montaż lub czynności manipulacyjne. Ze względu na swoje właściwości stosunkowo rzadko jest wykorzystywana do innych celów.

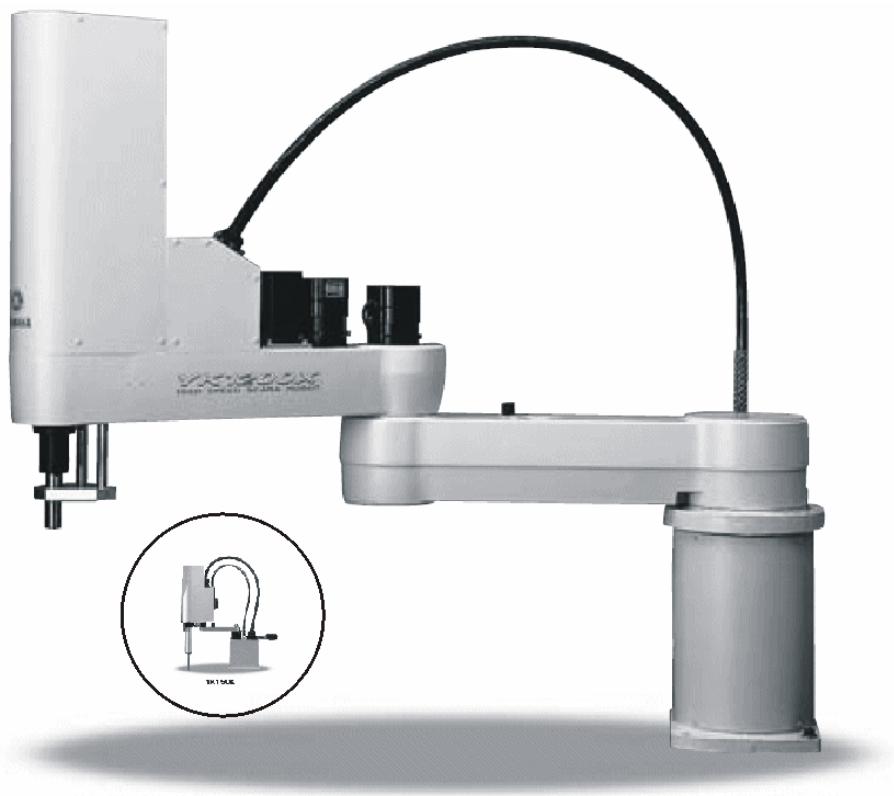
Rozwinięcie w języku angielskim akronimu SCARA sygnalizuje, że kinematyka tego typu robota jest podatna tylko w określonych kierunkach (x , y), odznaczając się

dużą sztywnością w kierunku osi z. Cecha ta została zaprojektowana głównie z myślą o zastosowaniu robota w procesach montażu. Układ kinematyczny typu SCARA, ze względu na bardzo dużą prędkość ruchu końcówki, jest stosowany w konstrukcji robotów montażowych lub przeznaczonych do wykonywania prostych zadań manipulacyjnych. Wymagana mała powierzchnia instalacji daje większe możliwości łączenia robotów w systemy zrobotyzowane oraz ułatwia adaptację robota w nowym, odmiennym systemie montażowym.

Tabela 3.2. Przykłady parametrów robotów o kinematyce SCARA różnych producentów

Model		Yamaha YK150X	Yamaha YK1200X	BOSCH
Rok produkcji		2005	2005	1989
Opis osi	Ramię pierwsze długość/obrót	99,5 mm/±113°	600 mm/±125°	444,5 mm/±90°
	Ramię drugie długość/obrót	50,5 mm/±139°	600 mm/±150°	355,5 mm/±130°
	Oś Z wysunięcie	30 mm	400 mm	240 mm
	Oś R obrót	±180°	±180°	±180°
Moc silników	Osie X/Y/Z/R	15/13/13/13 W	900/800/600/400 W	700/200/100/100 W
Prędkość maksymalna	złożenie X, Y	2,1 m/s	7,4 m/s	4,1 m/s
	oś Z	0,7 m/s	0,75 m/s	0,8 m/s
	oś R	1700°/s	600°/s	0,600°/s
Powtarzalność	osie X, Y	±0,005 mm	±0,05 mm	±0,025 mm
	oś Z	±0,01 mm	±0,02 mm	±0,025 mm
	oś R	±0,006°	±0,005°	brak danych
Maks. obciążenie		0,5 kg	50 kg	5 kg
Standardowy czas cyklu roboczego (z obciążeniem 0,1 kg)		0,45 s	0,91 s	brak danych
Waga		3,1 kg	124 kg	95 kg

Roboty o kinematyce SCARA są produkowane zarówno przez znaczących producentów robotów, jak i niewielkie firmy oferujące roboty specjalistyczne. Dostępne roboty różnią się wielkością przestrzeni roboczej, maksymalnym przenoszonym obciążeniem, miejscem mocowania manipulatora, stopniem zabezpieczenia przed wpływem środowiska pracy. W tabeli 3.2 przedstawiono parametry trzech robotów o kinematyce SCARA. Są to najmniejszy i największy z robotów oferowanych przez firmę YAMAHA (rys. 3.2) oraz starszy model robota firmy BOSCH (rys. 3.4).



Rys. 3.2. Największy (YK1200X) i najmniejszy (YK120X) robot SCARA z oferowanych przez firmę Yamaha (zachowano proporcje) [4]

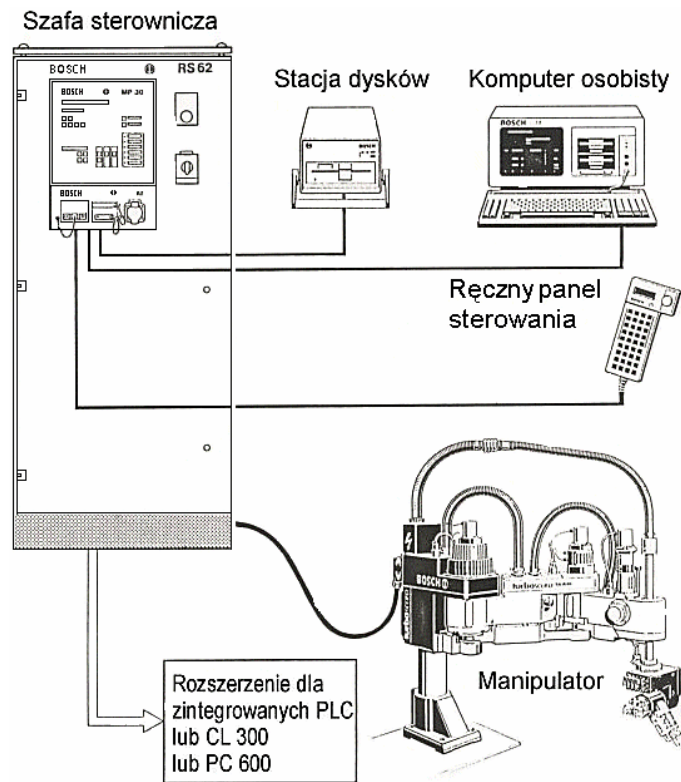
3.2.1. Budowa

Robot przemysłowy składa się zwykle z manipulatora, chwytaka lub innego narzędzia oraz układu sterowania (rys. 3.3).

Manipulatorem jest układ kinematyczny składający się z kilku członów – ramion. Dwa ramiona mogą być ze sobą połączone dwoma rodzajami członów ruchowych:

- parą obrotową,
- parą przesuwną.

W przypadku robota o kinematyce SCARA ma on 3 pary obrotowe o osiach równoległych do siebie i 1 parę przesuwną, której oś jest tożsama z trzecią parą obrotową (rys. 3.4). Czasami roboty typu SCARA wyposażane są w dodatkowe osie pomocnicze.



Rys. 3.3. Robot przemysłowy SCARA

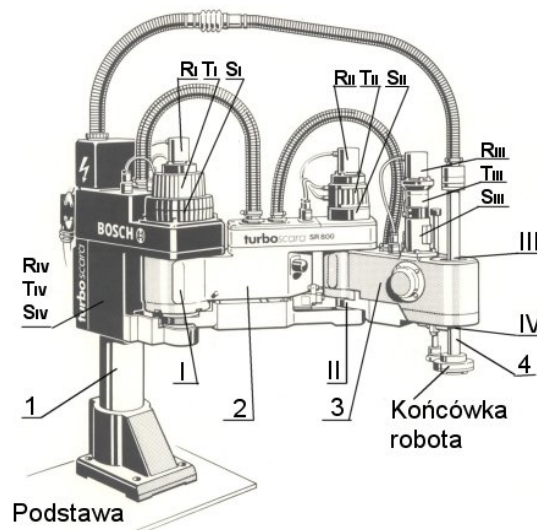
Ruchem w poszczególnych członach ruchowych steruje układ sterowania, tak aby złożenie przemieszczeń (obrotów i przesunięć) w poszczególnych parach kinematycznych skutkowało przesunięciem końcówki robota (chwybaka, narzędzia) w zaprogramowaną pozycję, z żadaną orientacją i po zadanej trajektorii.

Ruch w każdym członie ruchowym jest wymuszony przez silnik, a informacje o jego realizacji są przesyłane do układu sterowania przez prądnice tachometryczną (prędkość ruchu) oraz rezolwer (wzajemne położenie członów) (rys. 3.4).

Wielkość przestrzeni roboczej robota zależy od rozmiarów i konfiguracji jego członów. Mechanizm robota powinien być tak dobrany, aby w jego przestrzeni roboczej zawierał się zarówno przedmiot operacji technologicznych, jak i, szczególnie w przypadku robotów montażowych, osprzęt stanowiska zrobotyzowanego (zasobniki, podajniki, palety).

Ze względów konstrukcyjnych na dokładność pracy robota największy wpływ ma precyzja wykonania jego podzespołów, rodzaj dobranego układu kinematycznego,

jakość układu sterowania i kontroli wykonywanych ruchów. Dokładność pracy robota może pogorszyć zmiana temperatury, zakłócenia elektromagnetyczne, zmiany zasilania itp.



Rys. 3.4. Budowa manipulatora robota przemysłowego SCARA [1]:
 1, 2, 3, 4 – człony mechanizmu, I, II, III – pary obrotowe, IV – para przesuwna,
 Ri – rezolwer pary i , Ti – tachoprądnica pary i , Si – silnik pary i

Konstrukcja manipulatora powinna być wystarczająco sztywna, aby występujące podczas pracy odkształcenia były nieistotne dla poprawności procesu technologicznego. Największy wpływ na odkształcenia ma zwiększenie masy doczepionej do końcówki robota (narzędzie, chwytak + przenoszona część) lub zwiększenie parametrów ruchu robota (przyspieszenia).

3.2.2. Sterowanie

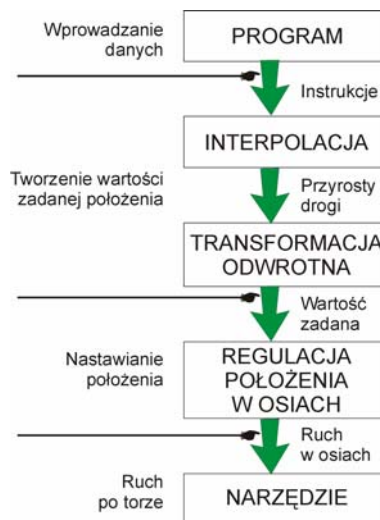
Podstawą do wykonania jakiegokolwiek pracy przez robota jest utworzenie programu definiującego wymagane czynności i zapisanie go w układzie sterowania. Program jest odpowiednio interpretowany i następuje zamiana jego poleceń na sygnały sterujące dla elementów wykonawczych robota (silników, chwytaka, narzędzia). Można wyróżnić następujące układy sterowania robotów przemysłowych [5, 6]:

- wielopunktowy (Multi-Point) – robot realizuje kolejne operacje zgodnie z zapamiętaną w układzie sterowania sekwencją położeń każdej sterowanej osi, co pewien ustalony takt,

- punktowy (Point-to-Point) – robot wykonuje ruch pomiędzy dwoma kolejnymi punktami pośrednimi toru w przestrzeni w taki sposób, że wszystkie pary kinematyczne dążą do poruszania się z maksymalną, określoną w programie, prędkością,

- kształtowy (Continuous Path) – robot wykonuje ruch pomiędzy dwoma kolejnymi punktami pośrednimi toru ruchu w przestrzeni w sposób określony przez program np. ruch po linii prostej, po łuku o zadanym promieniu, po krzywej opisanej wielomianem.

Obecnie roboty montażowe wyposażane są zwykle w układy sterowania kształtowego. Kolejne fazy przetwarzania danych w takim układzie sterowania ilustruje rysunek 3.5.



Rys. 3.5. Sterowanie robotem przemysłowym – od interpretacji programu do ruchu narzędzia

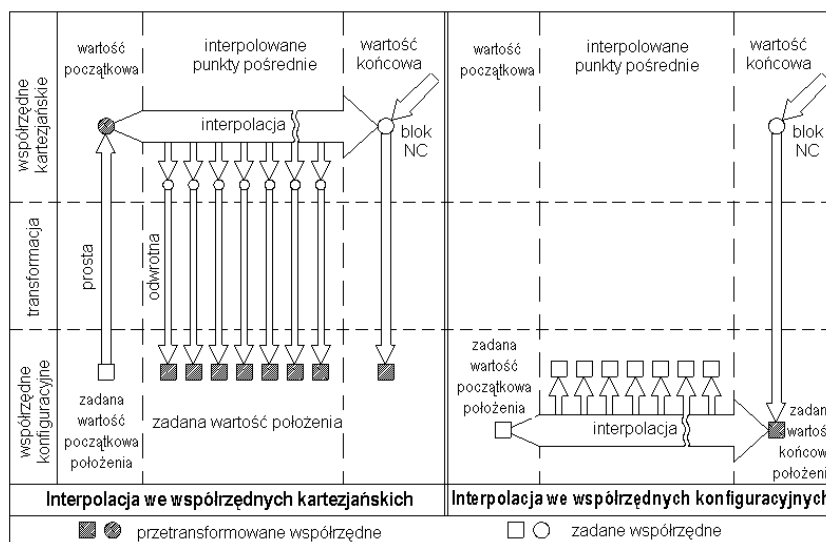
Program sterujący pracą robota można wprowadzić za pomocą panelu programowania lub wykorzystując komputer i odpowiednie oprogramowanie.

Panel programowania, zwykle zawieszony na tzw. wędce, jest specjalnym urządzeniem, które umożliwia poruszanie manipulatorem oraz tworzenie programów. Wprowadzanie programu polega na wyborze odpowiedniej instrukcji i ustaleniu parametrów jej wykonania. Punkty pośrednie są wskazywane przez odpowiednie ustawienie ramion manipulatora za pomocą joysticka i zapamiętanie ich położenia (metoda *teach-in*). Wadą tej metody jest konieczność wyłączenia robota z cyklu produkcyjnego na czas tworzenia i testowania programu. Zaletą jest bardzo intuicyjny sposób programowania.

Metoda off-line umożliwia napisanie i testowanie programu sterującego pracą robota bez dostępu do niego. Robot w tym czasie może wykonywać zadania produkcyjne. Odpowiednie oprogramowanie umożliwia wizualizację działania programu, ułatwiając wykrycie kolizji i innych błędów. Gotowy i sprawdzony program może zostać przesłany siecią przemysłową do układu sterowania robota, skracając czas przestoju do minimum.

Definiowanie punktów pośrednich toru ruchu końcówki robota może w programie być jawne, jako współrzędne opisujące położenie i orientację w globalnym układzie współrzędnych lub pod postacią zmiennych. Przed uruchomieniem programu, stosując metodę *teach-in*, należy wskazać punkty w przestrzeni roboczej odpowiadające kolejnym zmiennym. Do deklarowania współrzędnych punktów pośrednich w sposób jawny musi być bardzo dobrze oznaczone całe otoczenie robota (dokładne położenie podajników, części montowanych, wyrobu itd.).

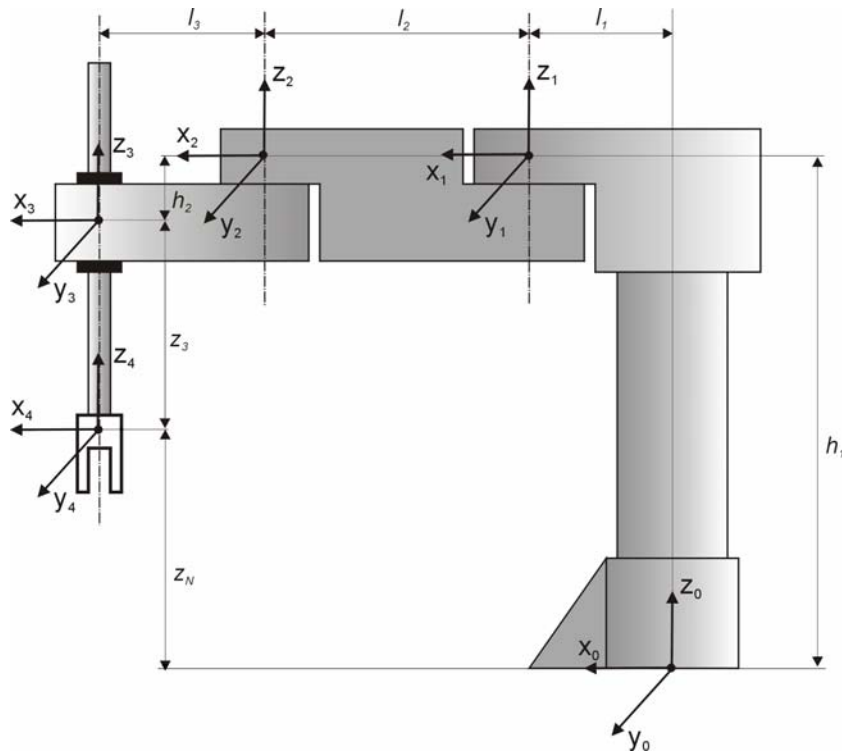
Układ sterowania wykorzystuje w swojej pracy rozwiązania zadania prostego i odwrotnego kinematyki robota (transformacja prosta i odwrotna) wynikające z jej modelu matematycznego. Zadanie odwrotne jest wykorzystywane do obliczania wzajemnego położenia członów robota, jakie powinien przyjmować dla uzyskania zaprogramowanego toru ruchu członu roboczego. Rozwiązanie zadania prostego służy natomiast do obliczania położenia członu roboczego na podstawie znanych wychyleń członów ruchowych (rys. 3.6).



Rys. 3.6. Przepływ danych podczas interpolacji w bazowych współrzędnych kartezjańskich i we współrzędnych konfiguracyjnych [6]

3.2.3. Zadanie proste kinematyki

Rozwiązanie zadania prostego kinematyki polega na wyznaczeniu położenia lokalnego układu współrzędnych związanego z członem roboczym (pozycja punktu TCP – Tool Centre Point, w którym osadzony jest początek tego układu oraz orientacja tego układu) względem zdefiniowanego globalnego układu współrzędnych robota, na podstawie znanej jego konfiguracji. Dane więc są stałe wymiary robota: l_1, l_2, l_3, h_1, h_2 oraz wzajemne położenie członów manipulatora w danej chwili $\theta_1, \theta_2, \theta_3, z_3$, zwane jego współrzędnymi konfiguracyjnymi (rys. 3.7 i 3.8). Poszukiwane są natomiast pozycja i orientacja członu roboczego, a więc położenie układu współrzędnych x_4, y_4, z_4 względem układu x_0, y_0, z_0 . Istnieją różne metody rozwiązywania zadania prostego [5]. Rozwiązanie zaprezentowane w tym podrozdziale opiera się na prostych zależnościach geometrycznych wynikających z budowy manipulatora.



Rys. 3.7. Opis kinematyki robota SCARA

W dalszych rozważaniach przyjęto, że współrzędne początku układu x_4, y_4, z_4 w globalnym układzie x_0, y_0, z_0 oznaczone są jako x_N, y_N, z_N . W rozważanym robocie SCARA jedyną możliwą zmianą orientacji członu roboczego i związanego z nim

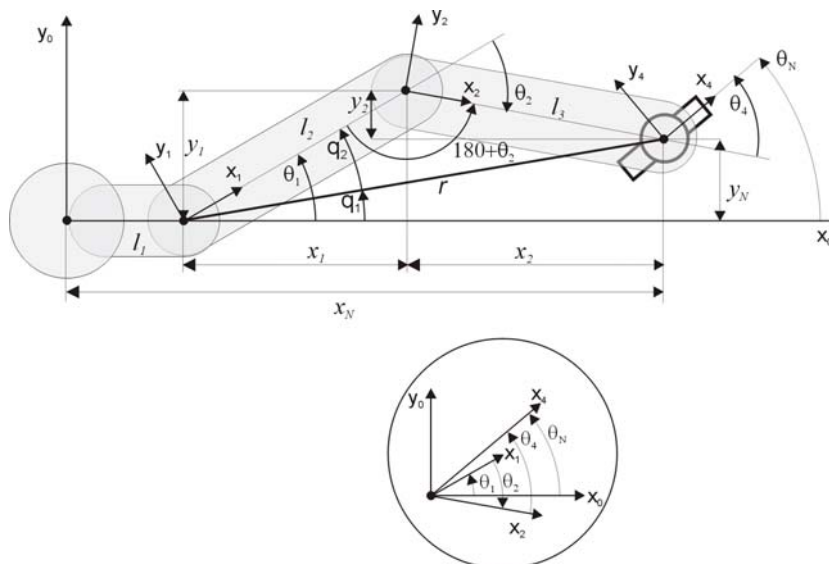
układu x_4, y_4, z_4 jest jego obrót wokół osi z_0 układu globalnego. Dla kąta tego obrotu przyjęto oznaczenie θ_N .

Przy wyznaczaniu pozycji początku układu x_4, y_4, z_4 najprostsze jest wyznaczenie współrzędnej z_N zależnej od wysunięcia ostatniego członu manipulatora z_3 oraz jego stałych wymiarów h_1, h_2 . Wynika ona z prostej zależności:

$$h_1 = h_2 + z_3 + z_N, \quad (3.1)$$

z której można wyznaczyć z_N .

Do wyznaczenia współrzędnych x_N oraz y_N wykorzystane zostaną informacje odczytane z rysunku 3.8.



Rys. 3.8. Parametry robota SCARA wykorzystywane do wyznaczenia współrzędnych x, y punktu TCP oraz orientacji narzędzia; uwaga: kąt θ_2 ma na rysunku wartość ujemną

Można utworzyć następujące układy równań:

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta_1 &= \frac{x_1}{l_2} \\ \cos(\theta_1 + \theta_2) &= \frac{x_2}{l_3} \\ x_N &= l_1 + x_1 + x_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow x_N = l_1 + l_2 \cos \theta_1 + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2), \quad (3.2)$$

$$\left. \begin{array}{l} \sin \theta_1 = \frac{y_1}{l_2} \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) = \frac{y_2}{l_3} \\ y_N = y_1 + y_2 \end{array} \right\} \Rightarrow y_N = l_2 \sin \theta_1 + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2), \quad (3.3)$$

z których, jak widać, łatwo wyznaczyć współrzędne x_N, y_N .

Na podstawie informacji z rysunku 3.8 można również wyznaczyć zależność opisującą orientację narzędzia. Orientacja opisana kątem θ_N obrotu osi x_4 względem globalnego układu współrzędnych jest opisana wzorem:

$$\theta_N = \theta_1 + \theta_2 + \theta_4. \quad (3.4)$$

3.2.4. Zadanie odwrotne kinematyki

Rozwiązanie zadania odwrotnego jest zwykle bardziej matematycznie skomplikowane. Chodzi w tym przypadku o obliczenie $\theta_1, \theta_2, \theta_4$ oraz z_3 na podstawie znanego położenia końcówki robota: x_N, y_N, z_N i θ_N . Zaprezentowane dalej rozwiązanie zadania odwrotnego kinematyki SCARA wykorzystuje proste zależności geometryczne.

Kąt θ_1 można obliczyć przez sumę jego dwóch składników q_1 i q_2 (rys. 3.8):

$$\theta_1 = q_1 + q_2, \quad (3.5)$$

gdzie:

$$q_1 = \arctan \frac{y_N}{x_N - l_1}, \quad (3.6)$$

$$q_2 = \pm \arccos \left(\frac{l_2^2 + r^2 - l_3^2}{2l_2 r} \right). \quad (3.7)$$

Równanie (3.7) wynika z twierdzenia cosinusów. Długość r można natomiast obliczyć z twierdzenia Pitagorasa:

$$r^2 = (x_N - l_1)^2 + y_N^2. \quad (3.8)$$

Z twierdzenia cosinusów można również znaleźć zależność na kąt $180^\circ + \theta_2$:

$$r^2 = l_2^2 + l_3^2 - 2l_2l_3 \cos(180^\circ + \theta_2), \quad (3.9)$$

$$\theta_2 = \pm \arccos\left(\frac{r^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3}\right). \quad (3.10)$$

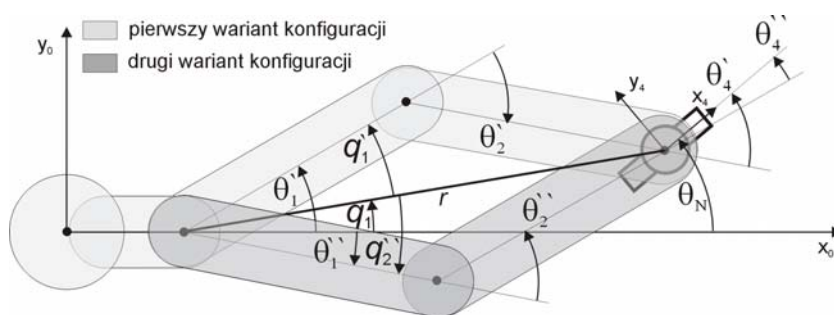
Do wyznaczenia wysunięcia z_3 ostatniego członu robota może posłużyć równanie (3.1):

$$z_3 = h_1 - h_2 - z_N, \quad (3.11)$$

a do wyznaczenia kąta θ_N równanie (3.4):

$$\theta_4 = \theta_N - \theta_1 - \theta_2. \quad (3.12)$$

Kąty θ_1 i θ_2 mogą przyjąć dwie wartości dla większości punktów przestrzeni roboczej (równania (3.7) i (3.10)), czyli zadanie odwrotne kinematyki ma dwa rozwiązania (rys. 3.9). Podczas pracy robota układ sterowania odrzuca to rozwiązanie, które jest dalsze poprzedniemu stanowi układu kinematycznego.



Rys. 3.9. Dwie konfiguracje kinematyki robota SCARA odpowiadające tej samej pozycji i orientacji końcówki; na rysunku kąty q_2'' , θ_1'' , θ_2' mają wartości ujemne

Literatura

- [1] Handbuch Bosch SR 450, 600, 800, Robert Bosch GmbH.
- [2] Honczarenko J., *Roboty przemysłowe; budowa i zastosowanie*, WNT, Warszawa 2004.
- [3] <http://www.fanuc.com/>
- [4] <http://yamaharobotics.com/>
- [5] Praca zbiorowa pod red. Moreckiego A. i Knapczyka J., *Podstawy robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów*, cz. 2, rozdz. 8. WNT, Warszawa 1994.
- [6] Pritschow G., *Technika sterowania obrabiarkami i robotami przemysłowymi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.

4. Wyposażenie technologiczne robotów montażowych

Robot montażowy nie byłby w stanie wykonać żadnej operacji, gdyby nie był odpowiednio wyposażony w narzędzia i urządzenia pomocnicze. Wyposażenie to można podzielić na podstawowe, uczestniczące bezpośrednio w procesie kojarzenia części, i dodatkowe, które ma za zadanie wyłącznie zwiększenie funkcjonalności członu roboczego (końcówki technologicznej) robota, bez którego zaplanowany proces kojarzenia mógłby ulec zakłóceniu.

Do wyposażenia podstawowego należy zaliczyć [19]:

- urządzenia chwytne, służące do jednoznacznego nadania pozycji oraz orientacji względem manipulatora oraz do przeniesienia sił kojarzących montowane części; w tej grupie są wszelkiego rodzaju standardowe chwytaki wyposażone w dwa lub więcej palców/szczęk, chwytaki zaprojektowane dla konkretnego, manipulowanego przedmiotu, chwytaki podciśnieniowe, elektromagnetyczne i specjalne,
- bierne urządzenia wspomagające proces kojarzenia, które wprowadzają do sztywnego układu kinematycznego element podatny; dzięki niemu możliwe jest, w pewnym zakresie, samoczynne (w przypadku wystąpienia sił samoorientujących) skorygowanie względnych uchybów położeń liniowych i kątowych kojarzonych części,
- czynne urządzenia wspomagające proces kojarzenia, których zadaniem jest dostarczanie do układu sterowania robotem danych charakteryzujących przebieg procesu kojarzenia; na podstawie tych danych układ sterowania jest zdolny skorygować zaprogramowaną trajektorię ruchu, tak aby proces kojarzenia przebiegł poprawnie; danymi tymi mogą być wartości sił i momentów sił działających na końcówkę robota, obraz miejsca kojarzenia z kamery wizyjnej bądź inne dane opisujące proces kojarzenia,
- głowice do zgrzewania, klejenia, spawania, szycia i do innych, rzadziej stosowanych, rodzajów połączeń montażowych,
- specjalistyczne głowice technologiczne, np. głowica do montażu połączeń z pasowaniem ciasnym.

Do wyposażenia dodatkowego należy z kolei zaliczyć [19]:

- urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi; dzięki nim możliwe jest automatyczne przezbrajanie końcówki technologicznej robota do realizacji różnych zabiegów lub operacji montażowych,

- głowice rewolwerowe, będące alternatywą dla urządzeń do automatycznej wymiany narzędzi; są one stosowane wówczas, gdy masa zainstalowanych na głowicy narzędzi jest niewielka oraz gdy ich wymiary nie stanowią przeszkody podczas wykonywania zabiegu montażowego,

- urządzenia antykolizyjne, zapobiegające (przy wystąpieniu kolizji końcówki robota z dowolnym obiektem w przestrzeni jego pracy) zniszczeniu kojarzonej części, wyposażenia robota lub samego robota.

W dalszej części tego rozdziału przedstawiono krótką charakterystykę poszczególnych urządzeń wyposażenia robotów montażowych, ze szczególnym uwzględnieniem sposobu ich pracy oraz miejsc powstawania uchybów liniowych i kątowych, które przenoszą się na manipulowaną część.

4.1. Urządzenia chwytne

Niezbędnym wyposażeniem dużej liczby robotów przemysłowych, a zwłaszcza robotów montażowych, jest chwytak. Zadaniem układów chwytanych robotów montażowych jest zapewnienie więzi między robotem a montowaną częścią. Roboty montażowe mogą być wyposażone w chwytaki o różnorodnej konstrukcji, które są przyłączane za pomocą specjalnych adapterów mechanicznych.

Chwytaki wykonują pracę, która składa się z trzech elementarnych czynności [19]:

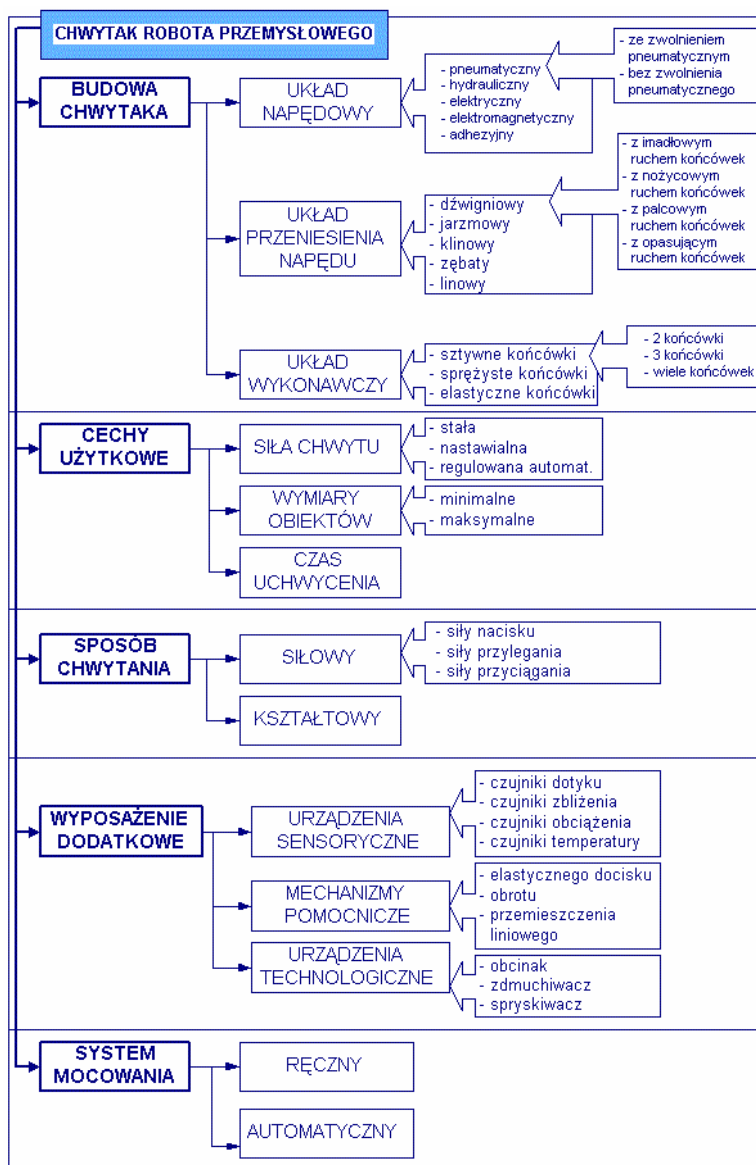
- pobrania przedmiotu,
- manipulowania przedmiotem,
- uwolnienia przedmiotu w miejscu docelowym.

Ograniczenie swobody ruchu manipulowanego przedmiotu względem chwytaka realizowane jest przez wytworzenie pola sił działających na przedmiot (tzw. chwytanie siłowe) oraz/lub przez odebranie przedmiotowi pewnej liczby stopni swobody w wyniku wytworzenia połączeń między elementami chwytaka i tymże przedmiotem (tzw. chwytanie kształtowe) [19]. Oba sposoby oddziaływania powinny być na tyle skuteczne, aby w czasie transportowania i montażu przedmiot nie zmienił przypadkowo swego położenia względem chwytaka na skutek działania sił grawitacji, odśrodkowych, bezwładności lub reakcji.

Za kryteria podziału dotychczasowych rozwiązań konstrukcyjnych chwytaków robotów przemysłowych przyjmuje się (rys.4.1) [26]:

- budowę i cechy użytkowe chwytaków,
- realizowany sposób chwytania,
- wyposażenie dodatkowe i system mocowania do robota.

Ze względu na realizowany sposób chwytania wyróżnia się chwytaki: siłowe i kształtowe. W przypadku chwytaków siłowych siły oddziałujące na obiekt manipulacji mogą być typu: naprężającego (ściskającego i rozciągającego) lub przyciągającego (adhezyjnego).



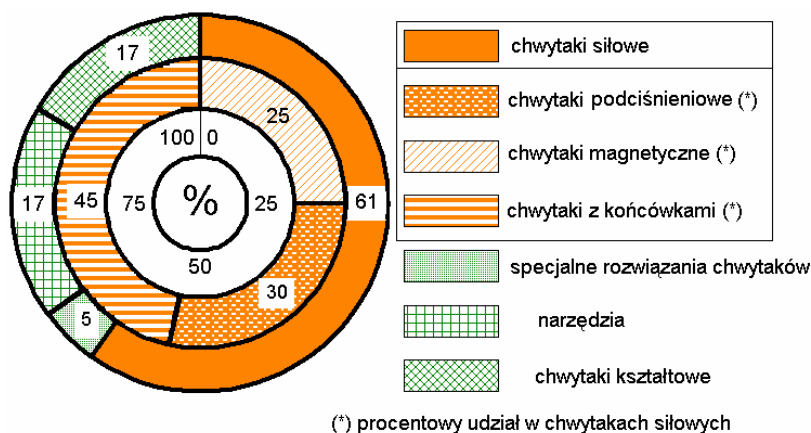
Rys. 4.1. Zasady systematyzacji chwytaków robotów przemysłowych [26]

Ze względu na zasadnicze różnice w budowie wyróżnia się chwytaki: ze sztywnymi końcówkami chwytynymi, ze sprężystymi końcówkami chwytynymi, z elastycznymi końcówkami chwytynymi, adhezyjne: podciśnieniowe i magnetyczne oraz specjalne urządzenie chwytające [23].

Za kryteria podziału klasyfikacyjnego chwytaków z końcówkami chwytynymi przyjmuje się: liczbę końcówek chwytynych, sposób przemieszczania się końcówek, rodzaj napędu użytego do wymuszania ruchu końcówek, liczbę mechanizmów napędowych w chwytaku, kontrolę i sterowanie ruchem końcówek chwytynych, sposoby przystosowania końcówek do kształtu obiektu i warunków chwytania [22]. Liczba końcówek chwytynych może być różna. Standardowy chwytak ma zwykle dwie, umieszczone przeciwległe, końcówki chwytne. Są również rozwiązania konstrukcyjne chwytaków z trzema końcówkami, przeznaczone przede wszystkim do chwytania obiektów o powierzchni kulistej (owalnej). Większą liczbę końcówek stosuje się zwykle przy manipulowaniu obiektami o wydłużonych kształtach [23, 2].

W zależności od sposobu przemieszczania się końcówek chwytynych pod wpływem siły wytworzonej przez mechanizm napędowy wyróżnia się ruch końcówek: nożycowy, szczypcowy i równoległy (imadłowy). Do napędów mechanizmów chwytaka stosuje się napęd pneumatyczny, hydrauliczny lub elektryczny. Od wielu lat w zastosowaniach ciągle przeważa napęd pneumatyczny (około 80% produkowanych rozwiązań) [23]. Również do wymuszania ruchu elastycznych końcówek chwytynych stosuje się prawie wyłącznie energię sprężonego powietrza. Kończówki chwytne mogą mieć napęd jednoczesny albo niezależny. W pierwszym przypadku występuje jeden mechanizm napędowy (lub jedno źródło energii) i jest to obecnie powszechnie stosowane rozwiązanie. Niezależny napęd końcówek chwytynych może być realizowany w chwytakach o odpowiedniej liczbie niezależnie sterowanych mechanizmów napędowych (lub elementów sterujących, np. w chwytakach z elastycznymi końcówkami chwytynymi). Położenie końcówek chwytynych może być: pozycjonowane lub niepozycjonowane. Obecnie przeważają rozwiązania drugiego typu – końcówki przemieszczają się między zderzakami umieszczonymi (zwykle) w mechanizmie napędowym. Zakres przemieszczeń końcówek można zmienić przez odpowiednie ustawienie zderzaków.

Ze względu na sposób oddziaływania końcówek chwytynych na powierzchnię obiektu wyróżnia się chwytaki przeznaczone do chwytania za powierzchnię zewnętrzną, wewnętrzną oraz za obie powierzchnie obiektu. Na rysunku 4.2 przedstawiono wyniki analizy katalogowego wyposażenia w chwytaki robotów przemysłowych [23] produkowanych na początku lat 90. Najliczniejszą grupę stanowią chwytaki siłowe – 61% wyposażenia maszyn, w tym chwytaki zaopatrzone w końcówki chwytne 45% tej liczby, chwytaki podciśnieniowe – 30% i magnetyczne – 25%). Chwytaki ze sztywnymi końcówkami są często (25% wyposażenia robotów) jedynymi standardowymi chwytakami dostarczonymi przez producenta robotów przemysłowych.



Rys. 4.2. Katalogowe wyposażenie robotów w poszczególne rodzaje chwytaków [23]

Podział chwytaków ze względu na parametry użytkowe może dotyczyć: dysponowanej wartości siły chwytu, granicznych wymiarów chwytanych obiektów, dopuszczalnych kształtów obiektu, czasu uchwycenia obiektu manipulacji. Wybór chwytaka według jednego lub kilku z tych kryteriów może być istotny ze względu na niektóre cechy obiektu manipulacji (np. masę, maksymalne oraz minimalne wymiary w miejscu uchwycenia), a także czas trwania procesu technologicznego i czynności manipulacyjnych.

Prawie we wszystkich obecnie stosowanych robotach dostępny jest ręczny sposób mocowania chwytaków i jest to rozwiązanie zadowalające dopóty, dopóki nie zachodzi konieczność częstego przezbrajania robota. Jeżeli robot ma w procesie produkcyjnym manipulować różnymi obiektami, wymagającymi stosowania różnych chwytaków, konieczne jest wyposażenie go w system automatycznej ich wymiany.

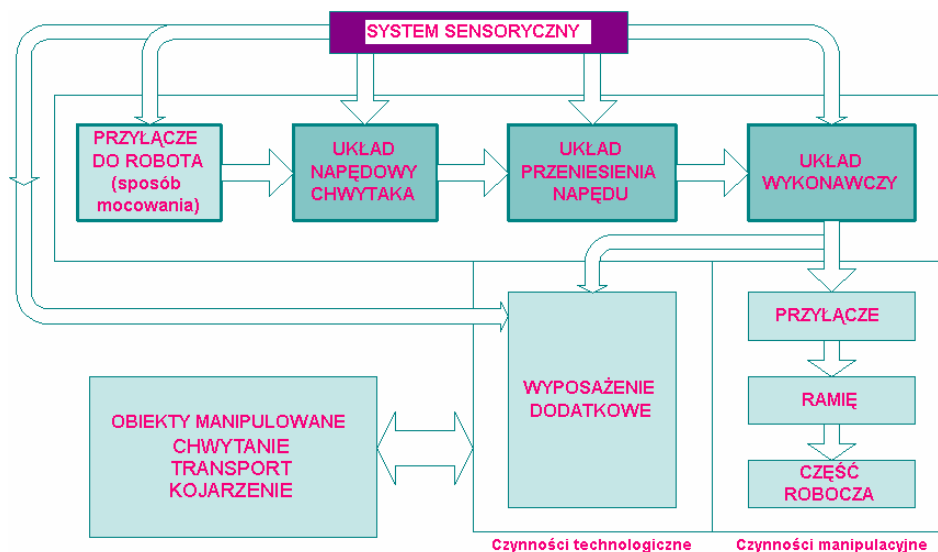
Wyposażeniem dodatkowym chwytaków robotów są: czujniki – służące do kontroli wybranych parametrów procesu chwytania obiektów, urządzenia technologiczne – wykonujące dodatkowe zadania robocze (podczas realizacji przez chwytak zadania manipulacyjnego).

4.1.1. Budowa chwytaków robotów montażowych

Każdy chwytak robota przemysłowego składa się z trzech podstawowych części: układu napędowego, układu przeniesienia napędu oraz układu wykonawczego. Na rysunku 4.3 przedstawiono schemat budowy chwytaka składającego się z wymienionych modułów.

W przypadku chwytaków pneumatycznych energia sprężonego powietrza jest wykorzystywana do [22]:

- przemieszczania tłoczyska siłownika,
- wytwarzania podciśnienia w przyssawkach,
- odkształcania elastycznych końcówek lub przepon kształtowych,
- wywoływania określonych zjawisk powstających podczas opływania strumienia powietrza wokół powierzchni obiektu,
- realizacji czynności pomocniczych.



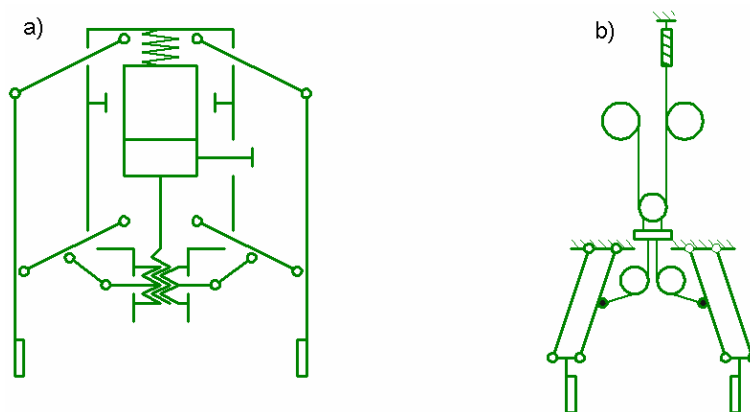
Rys. 4.3. Schemat blokowy chwytaka robota przemysłowego [22]

W zależności od żądanych wartości przemieszczeń tłoczyska oraz sił stosuje się siłowniki tłokowe, mieszkowe oraz membranowe. Największe zastosowanie znalazły siłowniki tłokowe jednostronnego działania, w których rozwieranie końcówek chwytanych następuje pod wpływem sprężonego powietrza, natomiast ich zwieranie dokonywane jest pod wpływem siły sprężyny zwrotnej [22]. Doboru zespołu napędowego dokonuje się w procesie projektowania układu przeniesienia napędu.

Napędem elektrycznym, przeznaczonym do zastosowania w chwytakach robotów przemysłowych, stawiane są takie wymagania, jak: niewielka masa silników, stabilna praca silnika w stanie uchwycenia, możliwość sterowania pracą silnika w różnych warunkach, ekonomiczność rozwiązania oraz bezpieczeństwo pracy. W skład napędu elektrycznego wchodzi [5]:

- serwonapędy, zawierające: silniki, czujniki sprzężenia zwrotnego, regulatory (prądu, prędkości, położenia),
- przekładnie, przekazujące napęd z silnika,
- mechanizm (układ kinematyczny) przeniesienia napędu na końcówki chwytne.

Na rysunku 4.4 przedstawiono dwa przykłady chwytaków elektrycznych. Pierwszy z nich (rys. 4.4a) został wyposażony w silnik prądu stałego z przekładnią redukcyjną. Silnik napędza śrubę, współpracującą z nakrętką, połączoną układem dźwigni z końcówkami chwytynymi. W wyniku zwiększonego oporu, związanego z uchwyceniem obiektu manipulacji, obudowa silnika przemieszcza się, a to przesunięcie kompensowane jest sprężyną [4]. W drugim chwytaku do napędu końcówek wykonawczych zastosowano silnik skokowy. Na rysunku 4.4b. przedstawiono schemat kinematyczny chwytaka oraz ciągnowy układ przeniesienia napędu. W układzie cięgien znajduje się sprężyna naciągowa, dzięki której możliwe jest uzyskiwanie żądanej siły chwytu [5].



Rys. 4.4. Przykłady chwytaków elektrycznych [5]:
a – z silnikiem prądu stałego i reduktorem, b – z układem ciągnym

W dotychczasowych konstrukcjach chwytaków z napędem pneumatycznym lub hydraulicznym prostoliniowe przemieszczenie siłownika przekształcone zostaje na liniowe przemieszczenie końcówek chwytynych. W chwytakach z napędem elektrycznym niezbędne jest przekształcenie ruchu obrotowego wirnika na odpowiednie przemieszczenie końcówek chwytynych. Tylko nieliczne rozwiązania, w których stosuje się elektryczne silniki liniowe, nawiązują bezpośrednio do typowych rozwiązań chwytaków z napędem pneumatycznym.

Problem przekształcenia ruchu obrotowego wirnika na przemieszczenie końcówek chwytynych rozwiązywany jest w chwytakach elektrycznych różnymi sposobami [5]:

- z użyciem przekładni ślimakowej (przekładnia ślimakowa umożliwia uzyskiwanie odpowiedniej redukcji prędkości, zapewnia dużą dokładność przemieszczeń i samohamowność połączenia; jednak dużą wadą jest wysoki koszt wykonania),

- z zastosowaniem przekładni śrubowej (często stosowane rozwiązanie składa się ze śruby rzymskiej i nakrętek, z którymi połączone są końcówki wykonawcze, a obrót śruby rzymskiej powoduje ruch końcówek w przeciwnych kierunkach),

- z użyciem przekładni zębatej (w przekładni zębatej w mechanizmach chwytaków zębatki są najczęściej połączone z końcówkami poruszającymi się po prowadnicach),

- z zastosowaniem układu cięgien (zastosowanie układu cięgien do przeniesienia napędu pokazano na rys. 4.4b; analogiczne rozwiązania stosuje się w wielu chwytakach, zwłaszcza wieloczołowymi końcówkami chwytynymi).

Tabela 4.1. Porównanie chwytaków ze względu na rodzaj napędu [22]

Parametr	Pneumatyczny	Elektryczny	Hydrauliczny
Rodzaj układu napędowego	siłownik pneumatyczny	silnik elektryczny krokowy	siłownik hydrauliczny
Typ układu napędowego	czynny	czynny	czynny
Układ przeniesienia napędu	liniowy	kątowy	liniowy
Siła na końcówkach	stała	regulowana	stała
Skok chwytaka	nastawiany	zmienny	nastawiany
Czas zamykania/otwierania	krótki	długi	bardzo krótki
Stosunek moc/masa	korzystny	niekorzystny	korzystny
Straty mocy	duże	małe	duże
Sterowanie chwytaka	dwustanowe	ciągłe	dwustanowe
Koordinacja ruchów zespołów	mała	duża	mała
Zanieczyszczenia	małe	małe	duże
Koszt	wysoki	niski	wysoki

Napęd hydrauliczny, pomimo wzrostu liczby zastosowań napędu elektrycznego, pozostaje nadal jednym z podstawowych napędów, szczególnie gdy idzie o szybkie przemieszczanie przy znaczących obciążeniach robota [26]. Krótki czas rozruchu (od kilkudziesięciu milisekund do sekundy) jest jeszcze jedną zaletą stosowania napędu hydraulicznego. W tabeli 4.1 zestawiono główne cechy chwytaków ze względu na stosowany rodzaj układu napędowego chwytaka.

Istnieje ogromna różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych układów przeniesienia napędu (tab. 4.3). Struktura i parametry tego układu określają wartość i zmienność siły chwytu, rodzaj ruchu oraz zakres przemieszczeń końcówek chwytynych. Jako kryterium klasyfikacji układów przeniesienia napędu w chwytakach przyjęto liczbę i rodzaj

par kinematycznych. W układach tych najczęściej występują pary kinematyczne tylko V klasy albo pary kinematyczne IV i V klasy. Obie grupy mechanizmów są w pewnym sensie grupami równoważnymi, ze względu na możliwość zastąpienia każdej pary IV klasy odpowiednim układem par kinematycznych V klasy (i odwrotnie) [23]. Typowymi parami IV klasy, stosowanymi w chwytakach, są: krzywki i przekładnie zębate (np. zębata – koło zębate).

Klasyfikacja obejmuje powszechnie stosowane w chwytakach mechanizmy płaskie o ruchliwości:

$$w = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (4.1)$$

gdzie: n – liczba członów ruchomych,

p_5 – liczba par kinematycznych V klasy,

p_4 – liczba par kinematycznych IV klasy.

Najprostszym rozwiązaniem konstrukcyjnym mechanizmu jest siłownik pneumatyczny, którego nieruchomy cylinder jest sztywno połączony z jedną końcówką chwytną, a przemieszczający się tłok z drugą końcówką. Rozwiązanie to jednak jest rzadko stosowane, między innymi ze względu na niesymetryczny ruch końcówek i możliwość obrotu tłoka w siłowniku. Mechanizmy płaskie o ruchliwości $w = 1$ zawierają mogą różne liczby ruchomych członów oraz par kinematycznych V klasy (tab. 4.2).

Tabela 4.2. Przykładowa liczba członów ruchomych i par kinematycznych klas IV i V mechanizmów płaskich o ruchliwości $w = 1$

n	2	4	...	3	5	...	4	6
p_5	2	5	...	3	6	...	4	7
p_4	1	1	...	2	2	...	3	3

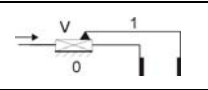
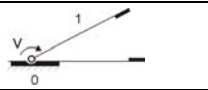
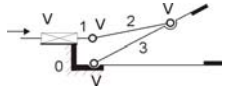
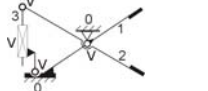
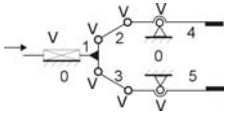
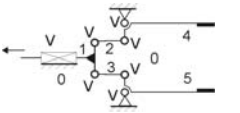
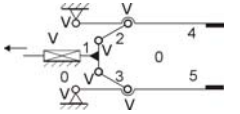
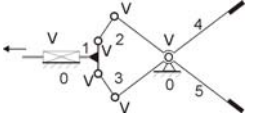
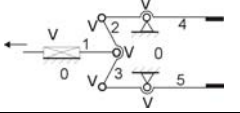
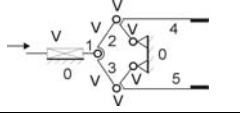
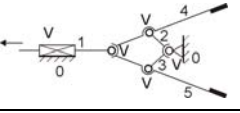
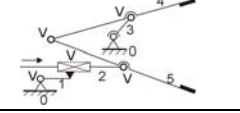
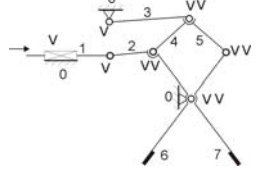
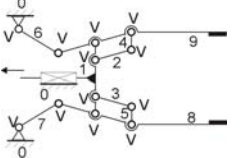
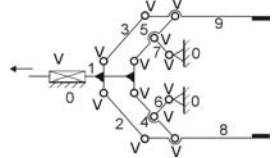
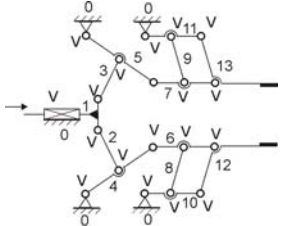
Do każdej z wymienionych grup ruchomych członów i par kinematycznych istnieje co najmniej jedno rozwiązanie konstrukcyjne. Typowe mechanizmy chwytaków zawierających pary V klasy przedstawiono w tabeli 4.3.

Elementem wykonawczym chwytaka są końcówki chwytny. Liczba tych końcówek może być różna, jednak standardowy chwytak ma dwie, umieszczone przeciwległe, końcówki chwytny. Ze względu na sposób oddziaływania na powierzchnię obiektu wyróżnia się chwytaki do chwytania za powierzchnię [3]:

- zewnętrzną obiektu manipulowanego,
- wewnętrzną obiektu manipulowanego,
- zewnętrzną lub wewnętrzną obiektu.

Końcówki chwytny występują jako elementy sztywne, sprężyste albo elastyczne, przy czym najczęściej stosuje się końcówki sztywne [3]. Standardowe wyposażenie

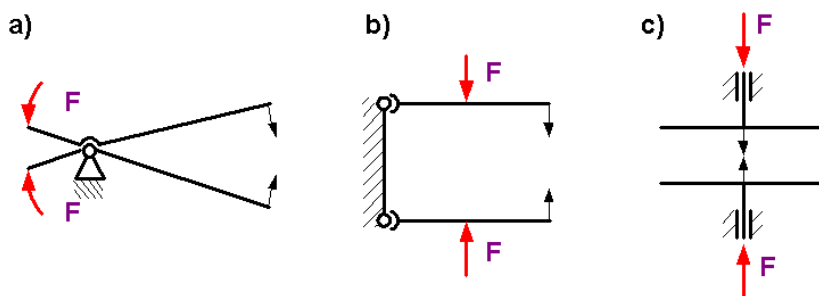
Tabela 4.3. Przykłady mechanizmów chwytaków o ruchliwości $w = 1$, o różnej liczbie członów (n) i par kinematycznych V klasy (p₅) [26]

p_5/n	Przykładowe struktury	
1/1		
4/3		
7/5		
		
		
		
10/7		
13/9		
19/3		

robotów przemysłowych obejmuje zwykle chwytak z króćcami. W zależności od rodzaju obiektu manipulacji użytkownik projektuje odpowiednie końcówki, które są mocowane do króćców. Istotną zaletą takiego rozwiązania jest możliwość przystosowania chwytaka do danego obiektu, polegająca m.in. na [3]:

- zmianie kształtu końcówek chwytanych, np. do przystosowania do kształtu powierzchni obiektu lub korygowania położenia obiektu,
- zmianie wymiarów końcówek, np. wydłużenie lub skrócenie końcówek czy też ich poszerzenie,
- zmianie rodzaju styku końcówki chwytnej z obiektem (styk liniowy, punktowy, powierzchniowy lub ich kombinacja w przypadku chwytu niesymetrycznego),
- stosowaniu specjalnych materiałów do fragmentów końcówki stykających się z powierzchnią obiektu, np. o zwiększonym współczynniku tarcia, elastyczne, ochronne itp.

Rodzaj i typ układu wykonawczego chwytaka wynikają z rodzaju i typu chwytaka. Na przykład, chwytak podciśnieniowy ma układ wykonawczy w postaci przyssawki lub zespołu przyssawek, a chwytak siłowy – mechaniczny zestaw końcówek chwytanych. Wśród najczęściej stosowanych w przemyśle – chwytaków siłowych ze sztywnymi końcówkami chwytanymi – spotyka się układy wykonawcze w trzech głównych odmianach związanych ze sposobem ich przemieszczania: nożycowym, szczypcowym i imadłowym (rys. 4.5) [23]. Standardowo wykonane chwytaki mogą być wyposażone w różnego rodzaju elementy, zespoły lub mechanizmy, które umożliwiają zmianę lub poprawę warunków chwytania obiektu manipulacji albo umożliwiają równolegle do operacji manipulowania wykonywanie określonych czynności technologicznych. Typowe wyposażenie chwytaków stanowią: wymienne nakładki na końcówki chwytne, czujniki oraz pomocnicze urządzenia i narzędzia technologiczne. Ze względu na różnorodność obiektów manipulacji oraz zmieniające się warunki pracy maszyny manipulacyjnej, nakładki na końcówki chwytne mogą pełnić następujące zadania: chwytanie obiektu o ściśle określonym kształcie, chwytanie obiektu o zróżnicowanych wymiarach, ustawienie powierzchni styku końcówki chwytnej względem obiektu według wymagań



Rys. 4.5. Sposoby przemieszczania końcówek: a – nożycowy, b – szczypcowy, c – imadłowy [23]

procesu produkcyjnego, zapewnienie elastycznego styku końcówki chwytnej z powierzchnią chwytanego obiektu, powodowanie żądanych w procesie produkcyjnym trwałych deformacji obiektu manipulacji w miejscu uchwycenia, izolowanie cieplne chwytaka itd. [22]. Osiąga się to przez konstruowanie nakładek, indywidualnie dla każdego przypadku, zwykle przez użytkownika robota montażowego.

O konstrukcji nakładek decyduje m.in.: sposób chwytania i warunki dostępu do obiektu, rodzaj materiału, z jakiego wykonany jest obiekt manipulacji, odporność powierzchni na uszkodzenia, kształt powierzchni w miejscu uchwycenia, masa oraz temperatura obiektu manipulacji. Pomocnicze urządzenia i narzędzia technologiczne stosowane jako wyposażenie chwytaków mogą realizować zadania, m.in. [22]:

- technologiczne, których wykonanie w trakcie manipulacji nie wpływa na pewność uchwycenia obiektu,
- eliminowania niedokładności wzajemnego ustawienia obiektu manipulacji i końcówek chwytanych albo obiektu manipulacji i urządzenia mocującego maszyny technologicznej,
- właściwego ukierunkowania (zorientowania) obiektu manipulacji.

4.1.2. Chwytaaki siłowe

Chwytaaki siłowe podczas chwytania działają na obiekt manipulacji siłami skierowanymi w stronę jego powierzchni albo przeciwnie – w kierunku chwytaka [23]. Przykładowo przy chwytaniu dwiema przeciwległymi końcówkami na obiekt działają dwie równe co do wartości, przeciwnie skierowane, siły, obie w stronę jego powierzchni. W przypadku chwytaka magnetycznego natomiast wytwarza on pole sił, które przyciąga obiekt w kierunku chwytaka. Istota działania chwytaków siłowych polega na wytworzeniu siły tarcia stycznego, która uniemożliwiłaby przemieszczenie się obiektu względem chwytaka. Tak więc wartość tej siły tarcia musi być większa od wypadkowej sił działających na obiekt podczas manipulowania nim przez robota.

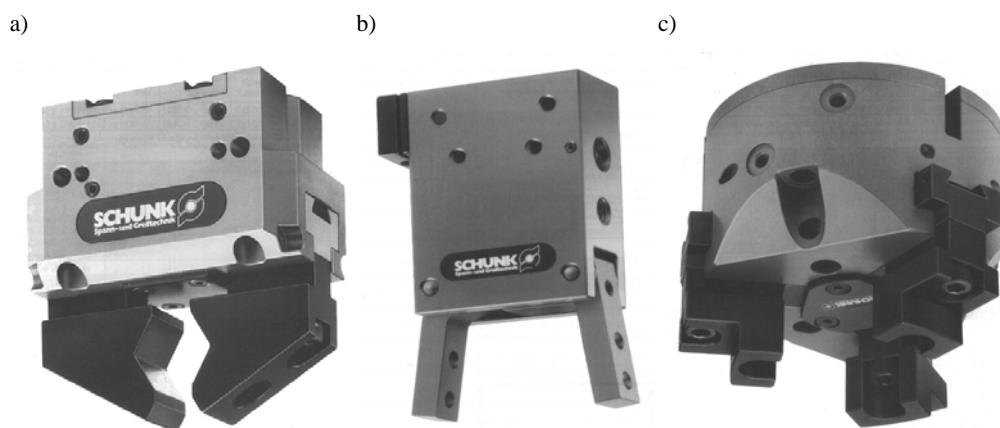
W praktyce przemysłowej stosuje się zwykle chwytanie siłowo-kształtowe, w którym końcówki chwytne swoim kształtem częściowo ograniczają swobodę przemieszczania się obiektu, a oprócz tego wywierają na ten obiekt siły w kierunkach niezabezpieczonych ograniczeniami kształtowymi [26].

Chwytaaki siłowe wyposażone w sztywne końcówki chwytne

Prawie połowa chwytaków siłowych jest wyposażana w sztywne końcówki chwytne [22]. Są to zwykle chwytaki pneumatyczne, które są budowane w dwóch podstawowych wersjach:

- z dwiema końcówkami (dwuszcękowe),
- z trzema końcówkami (trzyścękowe).

Chwytniki te stanowią podstawową ofertę wszystkich czołowych firm produkujących wyposażenie robotów przemysłowych. Przykładowo firma Schunk ma w swojej bogatej ofercie typoszereg chwytników 2-szcękowych (o równoległym i kątowym sposobie przemieszczania się końcówek chwytanych) oraz 3-szcękowych. Chwytniki 2-szcękowe są częściej stosowane ze względu na prostszą budowę, a co za tym idzie niższy koszt ich zakupu. Chwytniki 3-szcękowe są stosowane szczególnie przy manipulacji obiektów o kształcie walcowym (wałki, elementy kuliste), co ma szczególnie korzystny wpływ na poprawę orientacji obiektów wzdłuż osi chwytaka. Na rysunku 4.6 pokazano chwytniki 2-szcękowe (równoległy i kątowny) i chwytak 3-szcękowy.



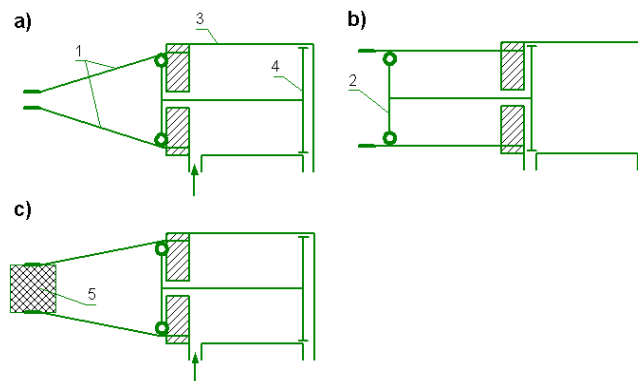
Rys. 4.6. Przykłady chwytaków wyposażonych w sztywne końcówki chwytne:
 a – chwytak równoległy z dwiema końcówkami, b – chwytak kątowy z dwiema końcówkami,
 c – chwytak równoległy z trzema końcówkami [15]

Chwytniki siłowe ze sztywnymi końcówkami chwytnymi mogą być łatwo przystosowane do różnych obiektów czy też różnych warunków procesu manipulowania. Przez wymianę kształtowych nasadek tychże końcówek można dopasować chwytak do różnych kształtów i wymiarów manipulowanych obiektów. Przez zmianę wartości ciśnienia zasilania w hydraulicznym lub pneumatycznym mechanizmie napędowym chwytaka można zmienić wartość siły chwytu. Możliwe jest również sterowanie ruchem końcówek chwytanych co do prędkości i przyspieszenia ich przemieszczania się.

Chwytaiki z końcówkami sprężystymi

Do chwytania drobnych części lub w przypadkach utrudnionego dostępu do nich, tzn. gdy zastosować trzeba cienkie i długie końcówki chwytne, można posłużyć się chwytaikami z końcówkami sprężystymi.

Zasadę budowy i działania chwytaika ze sprężystymi końcówkami chwytymi przedstawiono na rysunku 4.7 [23]. Końcówki sprężyste wykonane zwykle ze stalowych płaskowników są tak ukształtowane, że w stanie spoczynku chwytaik jest zwarty (rys. 4.7a). Wzrost ciśnienia w komorze chwytaika powoduje wysunięcie tłoczyska siłownika i rozwarcie końcówek (rys. 4.7b). W tym samym stanie chwytaik jest przygotowany do uchwycenia obiektu. Po zwiększeniu ciśnienia na drugim zaworze następuje ruch powrotny tłoczyska i uchwycenie obiektu (rys. 4.7c). Wartość siły chwytu zależy w tego typu konstrukcji od charakterystyki końcówek sprężystych i od wymiaru obiektu manipulacji.



Rys. 4.7. Zasada budowy i działania chwytaika ze sprężystymi końcówkami [23]:

a – stan spoczynku, b – chwytaik rozwarty, c – uchwycenie obiektu,

1 – końcówki sprężyste, 2 – rozpora końcówek, 3 – siłownik, 4 – tłok, 5 – obiekt manipulowany

Dzięki możliwości chwytania obiektów o różnych wymiarach geometrycznych, chwytaiki z końcówkami sprężystymi mogą zastąpić kilka chwytaików, a także chwytac części przed i po obróbce.

Chwytaiki z końcówkami elastycznymi

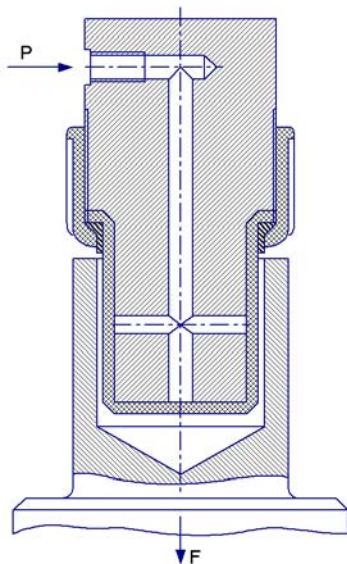
Chwytaiki z końcówkami elastycznymi służą zwykle do siłowo-kształtowego unieruchomienia obiektu manipulacji. Przykładowe rozwiązanie takiego chwytaika pokazano na rys. 4.8. Obie, umieszczone przeciwległe, końcówki chwytne wykonane są w tym rozwiązaniu z profilowanego elastomeru. Ponieważ każda z końcówek ma nierówne pola powierzchni, wzrost ciśnienia w ich wnętrzu powoduje łukowe ich odkształcenia. Stopień odkształcenia końcówek i tym samym siła chwytu zależy

od parametrów konstrukcyjnych końcówki oraz od wartości ciśnienia w jej wnętrzu [23]. Do chwytaków z końcówkami elastycznymi zalicza się także rozwiązania konstrukcyjne z membranami i przeponami.



Rys. 4.8. Chwytnak z końcówkami elastycznymi [16]

Przykładowe rozwiązanie chwytaka z przeponą, przeznaczonego do chwytania obiektów za powierzchnię wewnętrzną przedstawiono na rys. 4.9. Zwiększenie ciśnienia wewnątrz chwytaka powoduje zaciśnięcie przepony na powierzchni obiektu.



Rys. 4.9. Chwytnak ze sprężystą membraną do chwytania obiektów za powierzchnię wewnętrzną (otwór) [23]

Do zalet chwytaków z elastycznymi końcówkami, dzięki którym znajdują one coraz większe zastosowanie, należy zaliczyć [23]:

- możliwość chwytania przedmiotów kruchych, z narażonymi na uszkodzenie powłokami, różniących się kształtem i wymiarami,
- możliwość budowania chwytaków wielokońcówkowych – duża uniwersalność rozwiązań,
- możliwość łatwego nastawienia wartości siły chwytu przez zmianę wartości ciśnienia powietrza w końcówkach,
- dobre przyleganie do powierzchni obiektu manipulacji,
- tanie wykonanie i prosty montaż.

Do wad tego typu chwytaków należy zaliczyć:

- starzenie się materiałów, z których wykonano końcówki (guma, tworzywa sztuczne),
- stosunkowo długi czas zwierania i rozwierania związany z czasem potrzebnym do napełniania i opróżniania końcówek ze sprężonego powietrza lub płynu roboczego,
- brak zwykle możliwości chwytania obiektów gorących.

Chwytki podciśnieniowe

Warunkiem utrzymania obiektu manipulacji przez chwytak podciśnieniowy jest to, aby siła działająca na ten obiekt (wypadkowa siły grawitacji oraz sił wynikających z dynamiki ruchu) nie była większa od siły chwytu, obliczonej według następującego wzoru [26]:

$$F = k_p P (p_a - p_p), \quad (4.2)$$

gdzie: F – siła chwytu,

P – powierzchnia robocza przyssawki,

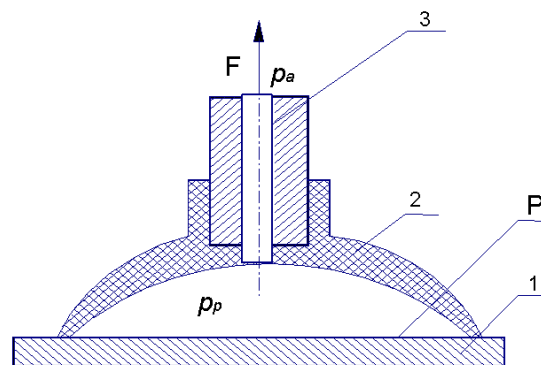
p_a – ciśnienie atmosferyczne,

p_p – ciśnienie wewnątrz przyssawki,

k_p – współczynnik uwzględniający możliwość zmiany ciśnienia atmosferycznego i powierzchni czynnej przyssawki (zwykle $k_p = 0,85$).

Jak wynika z równania (4.2) zwiększenie udźwigu chwytaka podciśnieniowego jest możliwe albo przez zwiększenie wartości podciśnienia ($p_a - p_p$), albo przez zwiększenie powierzchni roboczej przyssawki. Zwiększenie wartości podciśnienia jest trudniej zrealizować, gdyż urządzenia wytwarzające podciśnienie pracują zwykle ze stałą roboczą wydajnością. Zwiększenie powierzchni roboczej, przez zastosowanie większej liczby przyssawek, jest dość często stosowane w praktyce. Większa liczba przyssawek ma również i tę zaletę, że usztywnia chwyt, co ma znaczenie w przypadku obiektów manipulacji o dużych gabarytach, np. szyby czy też blachy.

Zwykle stosuje się przyssawki o kształcie sferycznym z cienkościennym obrzeżem (rys. 4.10). Wykonywane są one z gumy lub innego elastycznego tworzywa sztucznego. Dla przystosowania przyssawki do kształtu chwytanego obiektu można jej nadać odpowiedni profil. Chwytnak podciśnieniowy wyposaża się zwykle w dodatkowe przeguby umożliwiające właściwe jego zorientowanie względem powierzchni obiektu manipulacji. Dzięki temu uzyskuje się zmniejszenie zużycia energii do wytworzenia podciśnienia lub podniesienie jego skuteczności. Podciśnienie w komorze przyssawki wytwarzane jest przez: strumienice (injektory) gazowe (chwytniki strumienicowe, injektorowe) oraz przez tłokowe lub wirnikowe pompy próżniowe (chwytniki próżniowe) [23].



Rys. 4.10. Budowa chwytaka podciśnieniowego:

1 – obiekt, 2 – elastyczna przyssawka o kształcie czaszy, 3 – kolektor próżniowy,
 P – powierzchnia robocza przyssawki, F – siła chwytu, p_a – ciśnienie atmosferyczne,
 p_p – ciśnienie wewnątrz czaszy

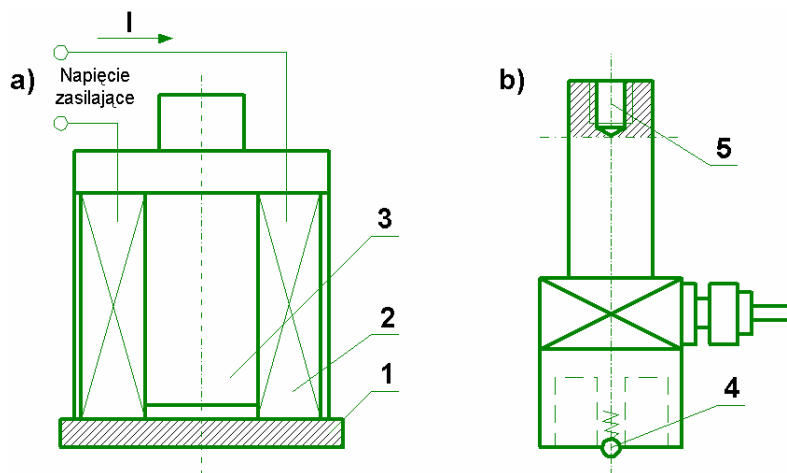
Z powodu zalet chwytaków podciśnieniowych, takich jak prosta konstrukcja, niewielka masa i niski koszt znajdują one powszechne zastosowanie. Trzeba jednak mieć na względzie następujące uwarunkowania [23]:

- przenoszone mogą być tylko te obiekty, które mają powierzchnię płaską lub kulistą o małej chropowatości,
- niezbędna jest szczelność przyssawki – przeszkodą jest występowanie drobin (opiółków metali, kurzu itp.) między obrzeżem przyssawki a powierzchnią chwytanego obiektu,
- ze względu na określone pojemności urządzenia (czaszy przyssawki, przewodów, zaworów przełączających itd.) oraz konieczność wytworzenia podciśnienia o określonej wartości, czas uchwycenia obiektu jest dłuższy niż w przypadku innych chwytaków,

- trwałość przyssawki gumowej jest niewielka ze względu na wrażliwość w wyższej temperaturze; w takich warunkach stosuje się przyssawki wykonane z poliuretanu,
- między przyssawką a obiektem powinna powstać siła tarcia statycznego – siła styczna do płaszczyzny przyssawki powinna być co najmniej taka sama jak siła działająca w kierunku prostopadłym do płaszczyzny przyssawki,
- dla zapewnienia pewnego zwolnienia obiektu z chwytaka trzeba, po połączeniu kolektora próżniowego z atmosferą, wprowadzić do czaszy dodatkowy krótkotrwały impuls ciśnieniowy w celu pokonania zjawiska tzw. przyssania obrzeża przyssawki do obiektu,
- w procesach produkcyjnych, w których występują pyliste materiały, chwytaki zaopatrzone w strumienice są źródłem silnego zanieczyszczenia atmosfery,
- chwytaki podciśnieniowe są przyczyną hałasu powstającego wskutek rozprężania gazu; przez zastosowanie tłumików wylotu powietrza możliwe jest obniżenie poziomu hałasu do kilkunastu dB.

Chwytaki magnetyczne

Chwytnak magnetyczny wytwarza pole sił, które przyciąga ferromagnetyczny obiekt manipulacji do powierzchni roboczej chwytaka. Pole sił może być wytworzone przez zastosowanie w chwytaku elektromagnesu lub magnesy trwałe. W przypadku zastosowania magnesów trwałych niezbędne jest wyposażenie chwytaka w dodatkowe urządzenia do uwalniania obiektu na zasadzie mechanicznej.



Rys. 4.11. Chwytaki elektromagnetyczne [23]:

a – zasada budowy, b – przykład rozwiązania (1 – obiekt, 2 – uzwojenie elektromagnesu, 3 – rdzeń, 4 – odrzutnik kulkowo-sprężynowy, 5 – miejsce mocowania chwytaka)

W przypadku zastosowania elektromagnesów (rys. 4.11) obiekt jest przyciągany przez chwytak w czasie przepływu prądu przez uzwojenie. Duża indukcyjność szczątkowa obiektu manipulacji może wymagać dodatkowego wyposażenia do uwalniania obiektu lub zmiany biegunowości elektromagnesu. Stosuje się w tym celu np. odrzutniki kulkowo-sprężynowe.

Siłę chwytu chwytaka magnetycznego oblicza się według następującego wzoru:

$$F = \frac{B^2}{2\mu_0} S, \quad (4.3)$$

gdzie: F – siła przyciągania elektromagnesu,

B – indukcja elektromagnetyczna,

S – pole styku obiektu z elektromagnesem,

μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni.

Niedogodności stosowania chwytaków magnetycznych są związane z [23]:

- możliwością chwytania obiektów wykonanych wyłącznie z materiałów ferromagnetycznych,
- gwałtownymi przemieszczeniami obiektu manipulacji przy zbliżeniu się do chwytaka (powoduje to utratę dokładności położenia początkowego obiektu),
- występowaniem magnetyzmu szczątkowego, który powoduje m.in. przyciąganie drobin metalowych oraz utrudnia uwolnienie obiektu,
- zmniejszeniem się siły chwytu wskutek zabrudzenia miejsca uchwycenia np. opiłkami,
- wydzielaniem się ciepła w uzwojeniu elektromagnesu,
- ograniczeniem temperatury pracy do około 60 °C ze względu na zmianę właściwości ferromagnetycznych.

Dla zwiększenia pewności uchwycenia obiektu stosuje się zwykle kilka elektromagnesów w chwytaku.

4.1.3. Chwytyki kształtowe

Chwytyki kształtowe polega na tym, że elementy chwytne swoim kształtem pozbawiają obiekt manipulacji swobody ruchu względem chwytaka. Do pewnego stopnia chwytanie kształtowe występuje w chwytakach siłowych, zwłaszcza ze sztywnymi końcówkami. Są one bowiem zwykle wyposażone w nakładki, których kształt jest częściowo dopasowany do kształtu obiektu w miejscu uchwycenia. Podobnie powierzchnie boczne chwytaków magnetycznych czy też podciśnieniowych mogą być dopasowane częściowo do kształtu obiektów manipulowanych. Na rysunku 4.12 pokazano przykład chwytaka kształtowego.

Większość konstrukcji chwytaków kształtowych jest identyczna z konstrukcjami chwytaków siłowych. Zasadnicza różnica w tych przypadkach polega na tym, że końcówki chwytne tych pierwszych nie przenoszą na uchwycony obiekt sił pochodzących od napędu końcówek, jak w przypadku tych drugich.

Do wyprodukowania końcówek chwytanych o kształcie odpowiadającym kształtowi powierzchni chwytanego obiektu można posłużyć się różnymi metodami. Można wykonać formę z wybranego fragmentu obiektu manipulacji metodą odlewania, np. z płynnego polimeru. Odlaną formę można użyć po jej stwardnieniu jak nakładkę na końcówkę chwytaną.



Rys. 4.12. Przykład chwytaka kształtowego [14]

Inna metoda to skorzystanie z dostępnego modelu CAD obiektu lub jego uzyskanie na drodze przestrzennego (3D) skanowania laserem. Na podstawie modelu CAD obiektu łatwo zaprojektować kształt powierzchni roboczej końcówek chwytanych i następnie wykonać je na obrabiarce NC lub w technologii *Rapid Prototyping*.

Chwytaiki kształtowe mają zastosowanie przy manipulowaniu obiektami [23]:

- kruchymi, wiotkimi, pokrytymi powłokami wykluczającymi wywieranie jakiegokolwiek nacisku miejscowego,
- o bardzo dużej masie, gdy stosowanie chwytaka siłowego wymagałoby rozwijania bardzo dużych sił w jego zespole napędowym w celu wytworzenia odpowiednich wartości sił tarcia statycznego na powierzchni styku końcówek chwytanych i obiektu,
- o tak złożonym kształcie, że uniemożliwia on stosowanie innych rodzajów chwytaków do zapewnienia jednoznacznie określonego sposobu transportowania.

4.1.4. Specjalne urządzenia chwytające

Do grupy specjalnych urządzeń chwytających można zaliczyć [23]:

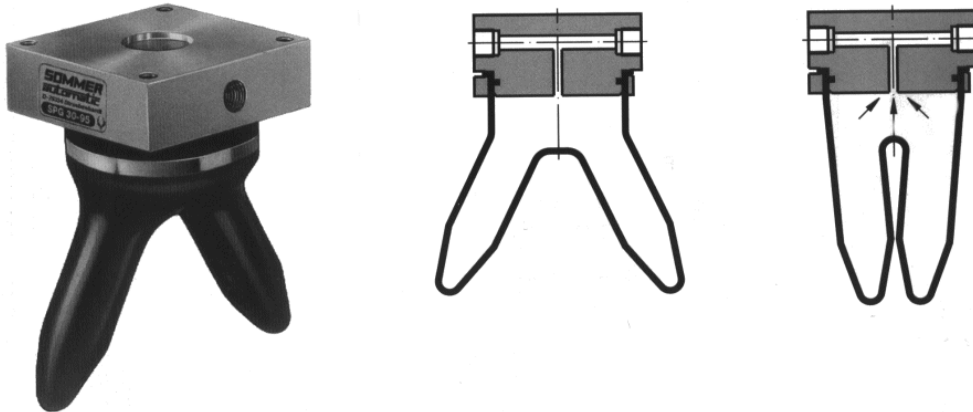
- chwytaki, których nietypowe rozwiązania konstrukcyjne uwarunkowane zostały szczególnymi właściwościami obiektu manipulacji, np. bardzo dużymi wymiarami, wysoką temperaturą, albo szczególnymi wymaganiami procesu produkcyjnego, np. jednoczesnego chwytania wielu takich samych lub nawet różnych obiektów, samocentrowania lub obrotu obiektu w chwytaku,
- chwytaki uniwersalne, przeznaczone do chwytania obiektów o różnych kształtach i wymiarach, przeważnie z dobieraną automatycznie do masy i struktury powierzchni obiektu siłą chwytu.

Pojęcie uniwersalności chwytaka obejmuje następujące założenia dotyczące jego budowy [23]:

- powinien tworzyć zwartą konstrukcję i mieścić w niej wszystkie niezbędne mechanizmy napędowe,
- zmianę sposobu chwytania uzyskuje się jedynie przez doprowadzenie sygnałów sterujących,
- końcówki chwytne tworzą niezamknięty łańcuch kinematyczny, przy czym poszczególne jego człony poruszają się ruchem obrotowym w stosunku do członu poprzedzającego; końcówki chwytne mogą się zbliżać, stykać lub przesuwać wzajemnie w czasie czynności chwytania,
- za optymalną liczbę członów jednej końcówki chwytnej przyjmuje się ich minimalną liczbę niezbędną do unieruchomienia obiektu.

Przykładowa konstrukcja chwytaka uniwersalnego to rozwiązanie z kilkoma wieloczłonowymi końcówkami chwytanymi rozmieszczonymi przestrzennie na podobieństwo dłoni człowieka [26]. Najczęściej trzy tego typu końcówki wystarczają, ponieważ 90% obiektów chwytanych dłonią człowieka może być uchwycone takim chwytakiem [23]. Chwywanie kilkoma wieloczłonowymi końcówkami chwytanymi uzyskuje się przez wielopunktowy styk z powierzchnią obiektu manipulacji, z kilku jego stron. Chwytaiki takie mogą chwytać objekty niedokładnie ustawione i zorientowane w przestrzeni, ponieważ ich wieloczłonowe końcówki chwytne mają dużo

większy niż standardowe rozwiązania zakres rozwarcia. Inne konstrukcje chwytaków uniwersalnych to konstrukcje z wieloma jednoczłonowymi końcówkami chwytynymi rozmieszczonymi przestrzennie oraz konstrukcje z końcówkami, które opasują obiekt manipulacji i przyjmują jego kształt.



Rys. 4.13. Przykład chwytaka specjalnego firmy Techno Sommer Automatic [16]

Na rysunku 4.13 przedstawiono schemat chwytaka o dwóch końcówkach chwytynych z niezależnie napędzanymi członami oraz rodzaje ruchów chwytynych od wewnątrz lub od zewnątrz obiektu. Rozmieszczenie końcówek chwytynych oraz ich kształt podobne są do dłoni, jako że jeden z członów końcówki chwytnej z niezależnym napędem może pełnić rolę kciuka.

4.2. Zasady doboru i projektowania chwytaków robotów przemysłowych

Chwytniki robotów, stosowane do zadań manipulacyjnych na zrobotyzowanych stanowiskach montażu, mogą być dobierane lub projektowane. Chwytniki wykonujące proste zadania manipulacyjne, np. chwytanie tylko jednego obiektu, mogą być w łatwy sposób dobierane z firmowych katalogów [10–16]. Obecnie, w systemach montażowych, częściej dobiera się chwytaki spośród istniejących rozwiązań niż projektuje je od podstaw. Istnieje jednak znacząca liczba obiektów o różnorodnych cechach użytkowych, dla których wybór gotowego chwytaka jest trudny lub często niemożliwy [22]. W celu rozwiązania tego problemu można zaprojektować chwytak przystosowany do realizacji planowanego zadania. W latach 90. XX wieku w wielu ośrodkach

badawczych opracowano metody projektowania i doboru układów chwytnych dla montażu zrobotyzowanego. Wśród nich można wyróżnić dwie kategorie: metody oparte na parametrach technologicznych oraz metodologicznych [22]. Pierwsza kategoria obejmuje strategie związane z kształtowaniem końcówek chwytnych, wymianą końcówek (chwytaków), użyciem jednostek wielochwytkowych czy pasywnych/aktywnych chwytaków uniwersalnych. Druga kategoria obejmuje strategie chwytania obiektów oraz stosowania technik wyboru chwytu i chwytaków opartych na bazie wiedzy. Na szczególną uwagę zasługują następujące metody [22]:

- wyboru układu chwytneho z użyciem bazy wiedzy [25],
- automatycznego planowania chwytu w zrobotyzowanej operacji montażowej [6],
- projektowania układów chwytnych z zastosowaniem systemu kodowania i klasyfikacji chwytaków [9],
- szczegółowego wyboru chwytaków za pomocą systemu ekspertowego [24],
- wyboru i oceny optymalnych chwytaków [1],
- komputerowo wspomaganego wyboru chwytaków [7],
- projektowania chwytaków z wykorzystaniem Rapid Prototyping [29].

W dalszej części tego rozdziału przedstawiono najważniejsze, ogólne zasady doboru oraz projektowania chwytaków robotów montażowych.

4.2.1. Zasady doboru chwytaków robotów przemysłowych

Właściwy dobór chwytaka ma decydujące znaczenie dla prawidłowego przebiegu procesu manipulacji. Proces doboru chwytaka (rys. 4.14) polega na [26]:

- wyborze sposobu uchwycenia,
- wyborze typu chwytaka (zasady jego działania),
- dobraniu parametrów konstrukcyjnych chwytaka,
- przystosowaniu końcówek chwytnych do kształtu powierzchni obiektu manipulowanego.

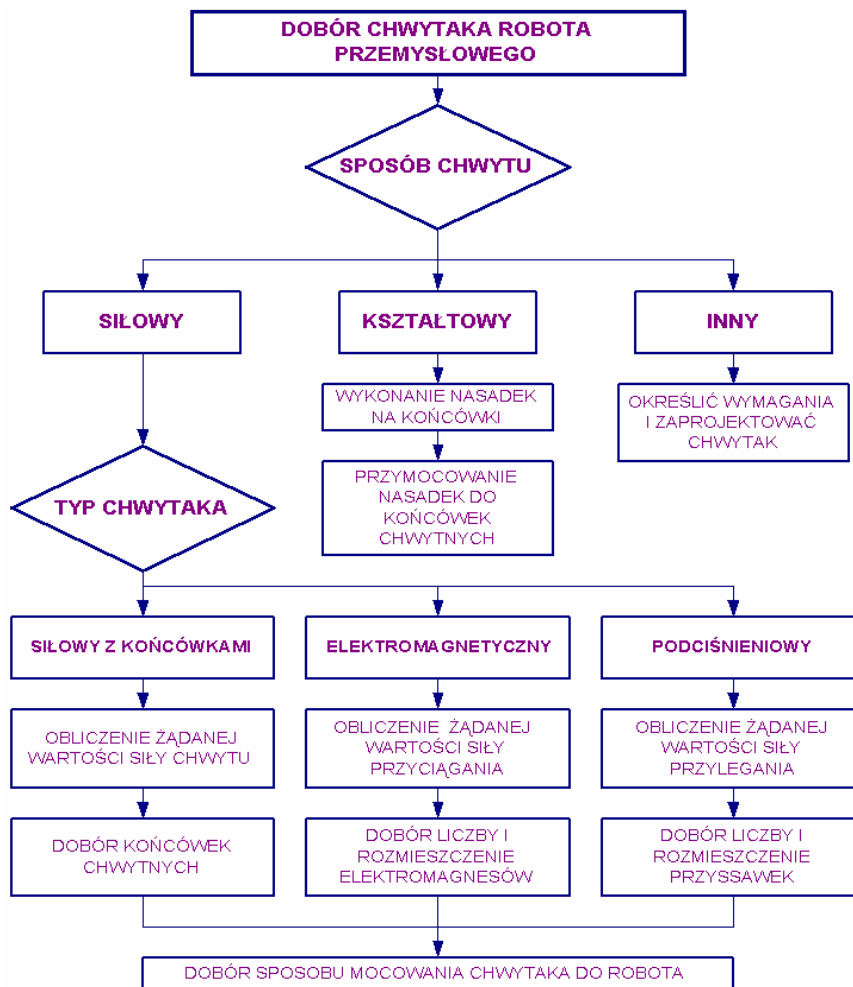
Wybór sposobu uchwycenia

Na wstępnym etapie doboru chwytaka należy określić sposób uchwycenia obiektu (rys. 4.14). Prawidłowe uchwycenie obiektu manipulacji zależy od [26]:

- sposobu unieruchomienia obiektu w chwytaku,
- parametrów obiektu manipulacji,
- wzajemnego początkowego ustawienia chwytaka i obiektu,
- warunków dynamicznych procesu manipulacji.

Urządzenie chwytające jest tym zespołem robota przemysłowego, który bezpośrednio oddziałuje na obiekt manipulacji i powoduje jego unieruchomienie względem jego elementów chwytnych. Pozbawienie obiektu możliwości przemieszczania się

względem chwytaka jest niezbędne do prawidłowego zrealizowania założonego procesu manipulacji. Chwytnik powinien ograniczyć swobodę ruchu obiektu, odbierając mu wszystkie bądź niektóre z 6 jego stopni swobody. W zależności od sposobu chwytania (siłowy, kształtowy, siłowo-kształtowy) obiektowi należy zawsze odebrać minimalną, niezbędną liczbę stopni swobody w celu stabilnego przeprowadzenia procesu manipulacyjnego.



Rys. 4.14. Sposób postępowania przy doborze chwytaka robota przemysłowego [26]

W tabeli 4.4 pokazano możliwość zastosowania różnych typów chwytaków (technik chwytania) do manipulacji obiektami.

Tabela 4.4. Zastosowanie różnych typów chwytaków do chwytu podstawowych kształtów obiektów [22]

Kształty obiektów	Ze sztywnymi końcówkami (2)	Ze sztywnymi końcówkami (3)	Z końcówkami sprężystymi	Z końcówkami elastycznymi	Podciśnieniowy	Magnetyczny	Kształtowy
Wałki	+	+/-	+	+	+/-	-	+
Tuleje	+	+/-	+	+	+/-	-	+
Tarcze	+	+/-	+	+	+/-	+	+
Dźwignie	+	-	+	-	-	-	+
Płyty	-	-	-	-	+	+	-
Koła zębate	+	+/-	+	+	-	-	+
Krzywki	+	-	+	+	-	-	+

(+) technika chwytu zalecana do chwytania obiektu z danej klasy, (+/-) technika chwytu korzystna w średnim stopniu, (-) technika chwytu nie zalecana

Wybór typu chwytaka

Różnorodność kształtów i wymiarów manipulowanych obiektów, rodzaju materiału, struktury powierzchni obiektów, masy oraz innych czynników wyróżniających obiekty manipulacji spowodowały, że powstała ogromna liczba różnych rozwiązań konstrukcyjnych chwytaków [26]. Obecnie najlepsze źródło informacji o chwytakach robotów stanowią katalogi producentów tych urządzeń. Do wiodących producentów wyposażenia robotów ze znacznym udziałem chwytaków można zaliczyć firmy: Schunk [14, 15], Sommer Automatic [16], IPR [11, 12], Cleveland Guest [10], PHD [13]. Użytkownik może więc dla różnych obiektów manipulacji dobrać odpowiedni chwytak. Taka sytuacja jest wystarczająca w przypadku, gdy użytkownik przewiduje docelowe zastosowanie robota do realizacji tzw. zadania dedykowanego, gdzie nie występuje konieczność montowania obiektów o różnych parametrach. W przypadku zastosowań obejmujących systemy montażowe dobór typu i rozmiaru chwytaków jest trudny (ze względu na różnorodność obiektów manipulowanych) i stanowi odrębne zagadnienie [22].

Do podstawowych parametrów chwytaków robotów przemysłowych można zaliczyć [26]:

- dla chwytaków ze sztywnymi końcówkami:
 - udźwig nominalny, [kg],
 - siłę chwytu, [N],
 - czas uchwycenia i uwolnienia obiektu, [s],
 - wymiary gabarytowe chwytaka, [mm],

- rodzaj ruchu końcówek chwytnych (szczypcowy, nożycowy, imadłowy),
- siłę na wyjściu zespołu napędowego, [N],
- skok tłoczyska siłownika (jeśli występuje), [mm],
- ciśnienie płynu roboczego lub powietrza, [MPa].
- dla chwytaków podciśnieniowych:
 - wymiary pola roboczego przyssawki, [mm²],
 - nominalne podciśnienie w czaszy przyssawki, [MPa],
- dla chwytaków elektromagnetycznych:
 - liczbę zwojów elektromagnesu,
 - wymiary pola styku chwytaka z powierzchnią obiektu, [mm²],
 - napięcie zasilania, [V].

Ze względu na prostotę konstrukcji chwytaków podciśnieniowych oraz elektromagnetycznych są one chętnie stosowane, gdy jest to tylko możliwe.

Dobór parametrów konstrukcyjnych chwytaka

Po wyborze typu chwytaka dobiera się jego parametry, zwłaszcza żadaną siłę chwytu. W przypadku chwytaka elektromagnetycznego jest to – siła przyciągania, natomiast podciśnieniowego – siła przylegania. Wartość siły może być w obu przypadkach zwiększona przez zastosowanie kilku elektromagnesów lub przyssawek. Dla chwytaków ze sztywnymi końcówkami chwytymi istotnymi parametrami, ze względu na prawidłowość uchwycenia danego obiektu, są: zakres przemieszczeń końcówek chwytnych, siła chwytu, wymiary chwytaka, sposób uchwycenia, głębokość uchwycenia i inne parametry konstrukcyjne chwytaka [26]. W ramach danego rozwiązania technicznego tego typu chwytaków można dokonywać zmian parametrów, ale ograniczają się one tylko do zmiany końcówek chwytnych oraz zmiany warunków zasilania. Przykładowo zmniejszenie ciśnienia zasilania umożliwia pracę z mniejszą wartością siły chwytu. Jeżeli nie jest możliwe uzyskanie pożądaných warunków uchwycenia obiektów za pomocą chwytaków oferowanych, na rynku jedynym rozwiązaniem pozostaje zaprojektowanie nowego chwytaka.

Przystosowanie końcówek chwytnych

Dany chwytak można przystosować do obiektu manipulacji przez zmianę wymiarów i kształtu końcówek chwytnych. Przystosowanie to może polegać na [26]:

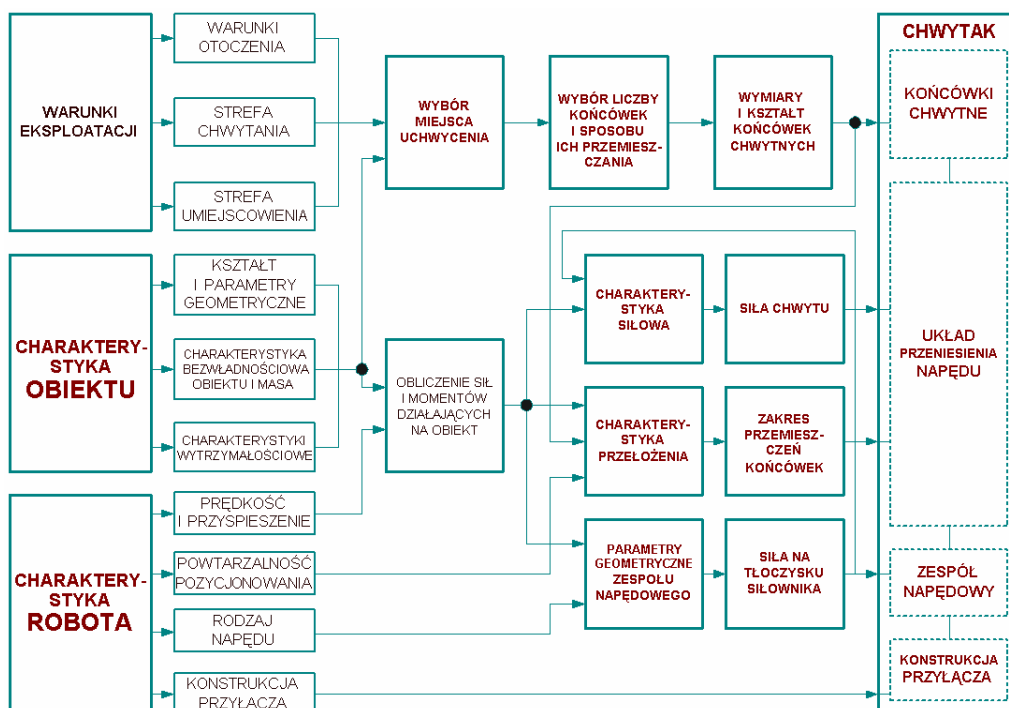
- zmianie kształtu końcówek chwytnych, np. przystosowanie do kształtu powierzchni obiektu,
- zmianie wymiarów końcówek chwytnych, np. ich wydłużenie lub skrócenie (związane z wymiarami obiektu),
- zmianie powierzchni styku końcówki chwytnej z obiektem,
- stosowaniu specjalnych materiałów dla fragmentów końcówki stykających się z powierzchnią chwytanego obiektu (np. o zwiększonym współczynniku tarcia, elastyczne itp.).

4.2.2. Zasady projektowania chwytaków robotów

W procesie projektowania chwytaków można wyróżnić następujące podstawowe etapy [22, 26]:

- określenie miejsca uchwycenia obiektu,
- obliczenie sił i momentów działających na obiekt w warunkach dynamicznych,
- określenie liczby końcówek chwytnych, sposobu oraz zakresu ich przemieszczania,
- zaprojektowanie układu przeniesienia napędu,
- obliczenie parametrów zespołu napędowego,
- opracowanie konstrukcji chwytaka, w tym konstrukcji przyłącza.

Na rysunku 4.15 przedstawiono proces projektowania chwytaków robotów przemysłowych.



Rys. 4.15. Kolejność postępowania przy projektowaniu chwytaków [26]

Określenie parametrów wejściowych do procesu projektowania chwytaków

Danymi wejściowymi do procesu projektowania chwytaków są warunki eksploatacji i charakterystyki geometryczne zrobotyzowanego stanowiska oraz charakterystyki obiektu i charakterystyki robota przemysłowego.

Warunki eksploatacji i charakterystyki geometryczne stanowiska obejmują [26]:

- warunki eksploatacji, określające typ wykonania (normalne, pyłoszczelne, iskrobezpieczne itp.) chwytaka, przedstawiane w postaci zakresu dopuszczalnych parametrów otoczenia, przy których zapewnione jest utrzymanie żądanych parametrów technicznych i użytkowych,

- wymiary gabarytowe strefy chwytania, sposób bazowania obiektu i ustawienia w pozycji chwytania,

- wymiary gabarytowe strefy uwolnienia obiektu, sposób bazowania i parametry położenia obiektu w strefie uwolnienia.

Charakterystyka obiektu opisuje [26]:

- kształt i parametry geometryczne obiektu, które określają kształt, parametry i liczbę końcówek chwytanych, konfigurację chwytaka, zakres rozwarcia końcówek chwytanych,

- masę i charakterystyki bezwładnościowe, które umożliwiają wyznaczenie sił inercji działających na obiekt podczas pracy robota,

- charakterystyki wytrzymałościowe obiektu, które stawiają ograniczenia co do maksymalnej siły chwytu.

Tabela 4.5. Zależność właściwości funkcjonalnych chwytaka od poszczególnych właściwości obiektu [26]

Chwytek Obiekt	Sposób chwytania	Kształt końcówek chwytanych	Parametry geometryczne końcówek chwytanych	Właściwości powierzchni końcówek chwytanych	Siła rozwijana przez zespół napędowy	Czujniki
Masa			●		●	●
Położenie środka ciężkości	●		●		●	
Moment bezwładności	●				●	
Kształt	●	●	●	●		●
Parametry geometryczne	●	●	●			
Tolerancje miejsc chwytu	●	●	●			●
Właściwości powierzchni miejsc uchwycenia	●	●			●	
Sztywność	●				●	
Odporność na naprężenia	●				●	●

W tabeli 4.5 podano, które z właściwości funkcjonalnych chwytaka zależą od danej właściwości obiektu manipulacji.

Charakterystyka robota zawiera [26]:

- prędkości i przyspieszenia poszczególnych zespołów ruchowych robota, które określają siły inercji działające na obiekt,
- powtarzalność pozycjonowania robota, która uwzględniana jest podczas określenia zakresu rozwarcia końcówek chwytanych,
- rodzaj napędu robota, który uwzględniany bywa czasem w projektowaniu zespołu napędowego chwytaka,
- zakończenie ramienia – jako miejsce przyłączenia chwytaka.

Ustalenie miejsca uchwycenia

Ustalając miejsce uchwycenia należy uwzględnić charakterystyki obiektu oraz warunki eksploatacji. Następnie na podstawie kształtu i parametrów geometrycznych obiektu oraz parametrów strefy chwytania i uwalniania, wybiera się liczbę końcówek, ich rodzaj (sztywne, sprężyste, elastyczne, wieloczołowe itd.), wymiary i kształty, a także sposoby przemieszczania.

Podczas ustalania miejsca uchwycenia powinno się wziąć pod uwagę możliwość zastosowania nasadek końcówek chwytanych, które swym kształtem i materiałem, mogą być dostosowane do warunków uchwycenia obiektu.

Nasadki na końcówki chwytne mogą pełnić różne funkcje [26]:

- obejmowanie całej powierzchni bocznej obiektu,
- korygowanie położenia obiektu manipulacji (w niewielkim zakresie, np. dla obiektów o walcowej powierzchni bocznej),
- zapewnienie żądanego rodzaju styku powierzchni obiektu i końcówki chwytnej,
- zapewnienie miękkiego styku końcówki chwytnej i powierzchni chwytanego obiektu,
- izolowanie termiczne chwytaka.

Obliczanie sił i momentów działających na obiekt

Do obliczenia sił i momentów działających na obiekt można posłużyć się metodami analitycznymi. Najpierw niezbędne jest wyznaczenie charakterystyk bezwładnościowych obiektu manipulowanego, obliczenie sił i momentów działających na chwytany obiekt podczas manipulowania nim i wyznaczenie zakresów zmian tych sił i momentów. W obliczeniach należy przyjąć najbardziej niekorzystne przypadki uchwycenia i ruch z ekstremalnymi parametrami. Do zaprojektowania układu o odpowiedniej sile chwytu najczęściej bierze się pod uwagę maksymalne wartości sił i momentów.

4.3. Urządzenia wspomagające proces kojarzenia

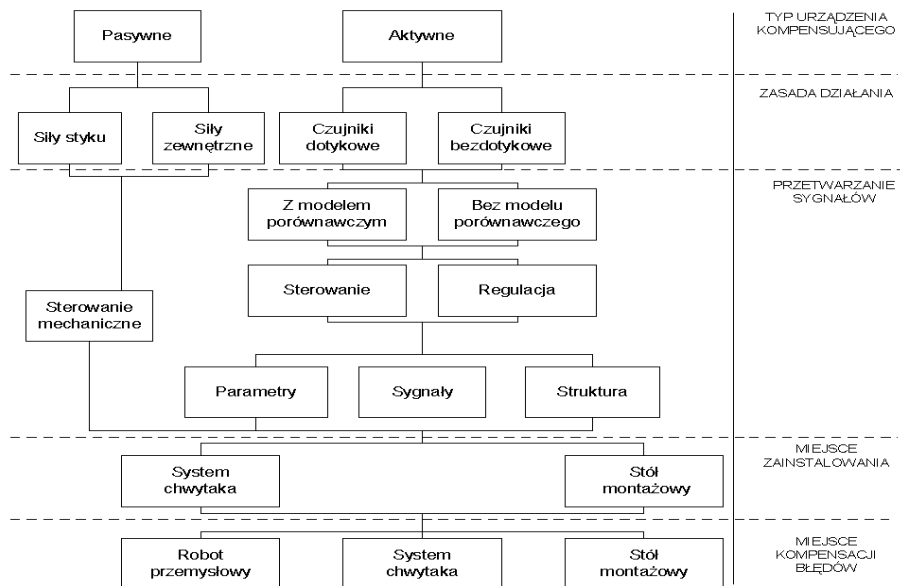
Podstawowym zadaniem urządzeń wspomagających proces kojarzenia jest kompensacja błędów wzajemnego położenia i orientacji części, umożliwiająca poprawny przebieg procesu ich kojarzenia [19]. Inaczej mówiąc, ich zadaniem jest uodpornienie procesu kojarzenia na liniowe i kątowe odchylenia, jakie pojawiają się między kojarzonymi częściami. Parametry tych urządzeń można scharakteryzować przez takie wielkości, jak: maksymalne, korygowalne uchyby, dopuszczalne prędkości ruchów oraz wielkości i kierunki sił wykorzystywanych w procesie kompensacji. W zależności od zasady działania rozróżnia się następujące urządzenia kompensujące:

- aktywne,
- bierne,
- mieszane.

W celu dokładnego scharakteryzowania urządzeń kompensujących należy wziąć pod uwagę takie ich cechy, jak [19]:

- pełniona funkcja,
- rodzaj i sposób przetwarzania sygnałów,
- miejsce zainstalowania,
- sposób kompensacji błędów.

Na rysunku 4.16 przedstawiono systematykę różnych konstrukcji urządzeń kompensujących uchyby położenia i orientacji kojarzonych części.

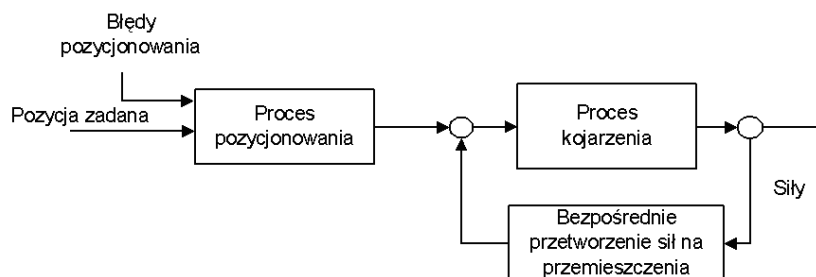


Rys. 4.16. Systematyka urządzeń kompensujących [27]

4.3.1. Biernie urządzenia kompensujące

Urządzenia biernie, w odróżnieniu od aktywnych, nie zawierają czujników ani dodatkowego sterowania. Ich funkcje realizowane są samoczynnie. Są dwa rodzaje tego typu urządzenia wykorzystujące siły [20]:

- reakcji między montowanymi częściami,
- zewnętrzne (magnetyczne, pneumatyczne itp.).



Rys. 4.17. Schemat procesu regulacji w biernych urządzeniach kompensujących [28]

W pierwszym rodzaju tych urządzeń kompensacja błędów następuje samoczynnie (rys. 4.17), z wykorzystaniem sił reakcji występujących między łączonymi powierzchniami. Siły te umożliwiają przemieszczenie części w płaszczyźnie montażu i znalezienie właściwego położenia. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu podatności tych urządzeń. Są one zwykle instalowane przy chwytaku robota.

Drugi rodzaj urządzeń wykorzystuje siły zewnętrzne, których zadaniem jest nadanie właściwego położenia montowanym częściom. Miejscem ich instalacji jest najczęściej stół montażowy. Do podstawowych zalet biernych urządzeń kompensujących należą [19]:

- brak kosztownych i podatnych na zakłócenia czujników,
- brak czasochłonnego przetwarzania danych,
- łatwość obsługi,
- niskie koszty,
- łatwość integracji z już istniejącymi systemami,
- postępująca standaryzacja.

Urządzenia te, oprócz wspomnianych zalet, mają również wady [19]:

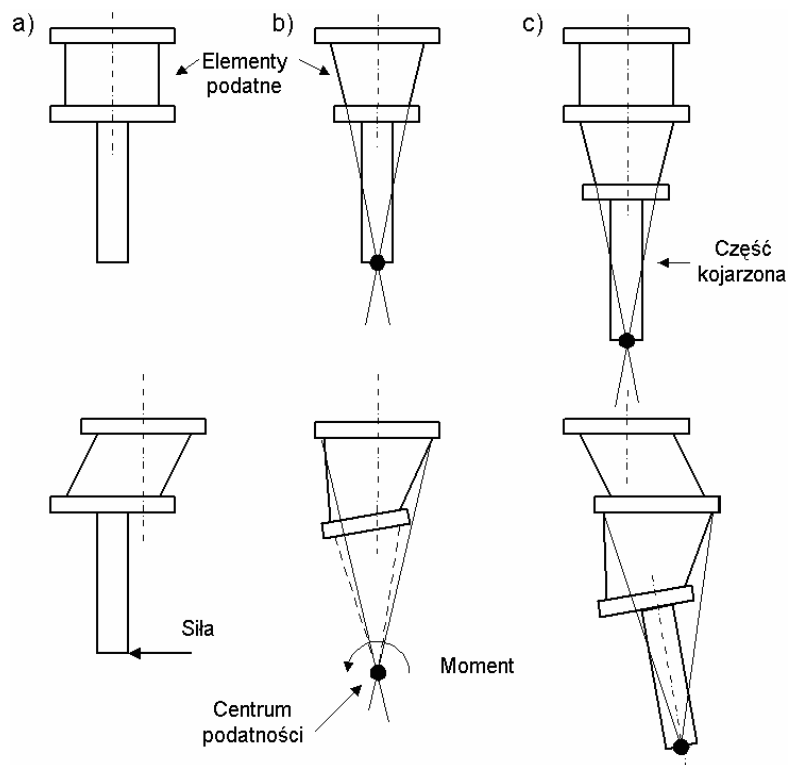
- ograniczony obszar zastosowań; tylko stosunkowo małe błędy mogą zostać skompensowane (odchylenia ok. 3 mm liniowo i ok. 2° kątowo),
- ograniczenie zastosowań do części o prostej budowie geometrycznej (głównie walcowej),
- niebezpieczeństwo wystąpienia zbyt dużych sił,
- w przypadku urządzeń wykorzystujących siły reakcji – konieczność występowania (przynajmniej na jednej z kojarzonych części) powierzchni pomocniczej typu fazka.

Dotychczas działające systemy bazują na jednej z czterech zasad działania:

- wykorzystanie sił reakcji – urządzenia RCC,
- wspomaganie strumieniem powietrza,
- wykorzystanie sił magnetycznych,
- metody wibracyjne.

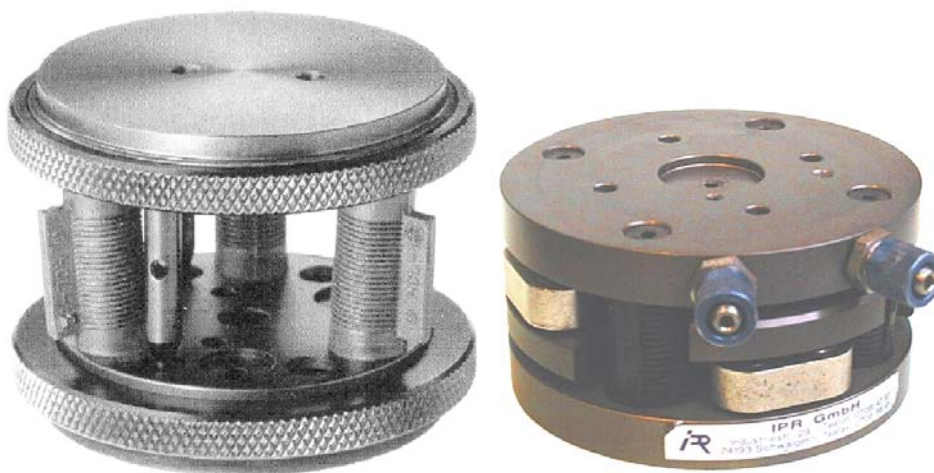
Wykorzystanie sił reakcji – urządzenia RCC

RCC (ang. *Remote Center Compliance*) – przez to pojęcie rozumie się najbardziej rozpowszechnione urządzenie kompensujące, znajdujące coraz większe zastosowanie w przemyśle. Koncepcja tych urządzeń powstała w laboratoriach Charles–Stak–Draper w Cambridge, Mass., USA [27]. Szczególne znaczenie ma w nich tzw. środek (centrum) podatności. Jest to punkt, w którym skupiają się przyłożone siły, powodujące przesunięcia. Gdy zostanie w tym punkcie skupiony moment sił, spowoduje on obrót trzymanej części wokół tego punktu. Położenie środka podatności zależy od kinematycznej budowy urządzenia. Zasada działania RCC opiera się na podziale urządzenia na dwa moduły (rys. 4.18).



Rys. 4.18. Moduły funkcyjne urządzenia RCC:
 a) moduł translacyjny, b) moduł obrotowy, c) cały system [27]

Moduł translacyjny umożliwia, przy wystąpieniu sił poprzecznych działających na centrum podatności, liniowe przesunięcia wyrównujące pozycję części. Moduł obrotowy natomiast umożliwia, przy wystąpieniu momentu sił, obrót części dookoła centrum podatności, a tym samym kompensację błędów kątowych. Położenie centrum podatności jest ściśle określone przez kątowe ustawienie elementów podatnych w module obrotowym. Kinematyka systemu kompensującego musi być tak ukształtowana, aby zapobiegać zakleszczeniu się części i wzrostowi sił kojarzących. W starszych rozwiązaniach elementy podatne stanowią stalowe sprężyny skręcane. W nowszych konstrukcjach są to elastyczne elementy gumowe, które ze względu na swoją sztywność powracają do położenia wyjściowego po zakończeniu procesu kojarzenia. Poza tym ich zaletą jest dobre tłumienie drgań. Wygląd typowych urządzeń RCC przedstawiono na rysunku 4.19.



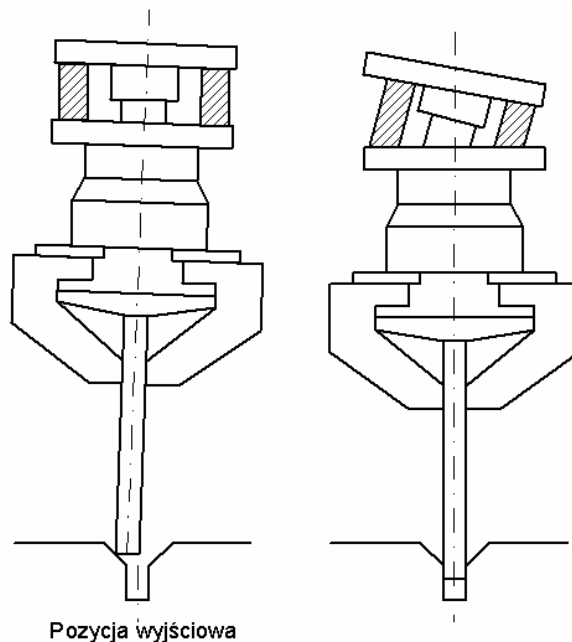
Rys. 4.19. Wygląd typowych urządzeń RCC na przykładzie elementów firmy SCHUNK [14] i firmy IPR [11]

Najbardziej rozpowszechnione urządzenia RCC składają się z sześciu elementów podatnych wykonanych z elastomeru, z których trzy są ustawione pod kątem (moduł obrotowy), a trzy są umieszczone równoległe do osi (moduł translacyjny) [19]. Taką budowę określa się mianem dwustopniowej. Uproszczoną wersję stanowi urządzenie dysponujące tylko trzema lub czterema elementami podatnymi. Są one ustawione na centrum podatności, tak jak moduł obrotowy, lecz muszą również przejąć funkcję modułu translacyjnego. Jakość i sprawność działania takiego urządzenia zależy przede wszystkim od zastosowanych elementów podatnych. Mają one dużą sztywność w kierunku osiowym i małą w kierunku poprzecznym, co wynika z ich konstrukcji. Składają się one bowiem z bazowego tworzywa elastomerowego z zawulkanizowanymi w środku metalowymi płytkami. Parametry urządzenia kształtuje się przez zmianę takich właściwości, jak [19]:

- liczba elementów podatnych,
- zastosowane tworzywa,
- grubość i średnica elementów podatnych,
- ustawienie elementów podatnych.

W dalszej części tego podrozdziału przedstawiono kilka stosowanych rozwiązań urządzeń RCC na przykładzie istniejących urządzeń proponowanych przez producentów.

Firma IPR oferuje kilka rodzajów pasywnych urządzeń. Znajdują one zastosowanie w kompensacji błędów liniowych w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku kojarzenia oraz kątowych wokół wszystkich osi. Możliwości tych urządzeń pokazano na rysunku 4.20.



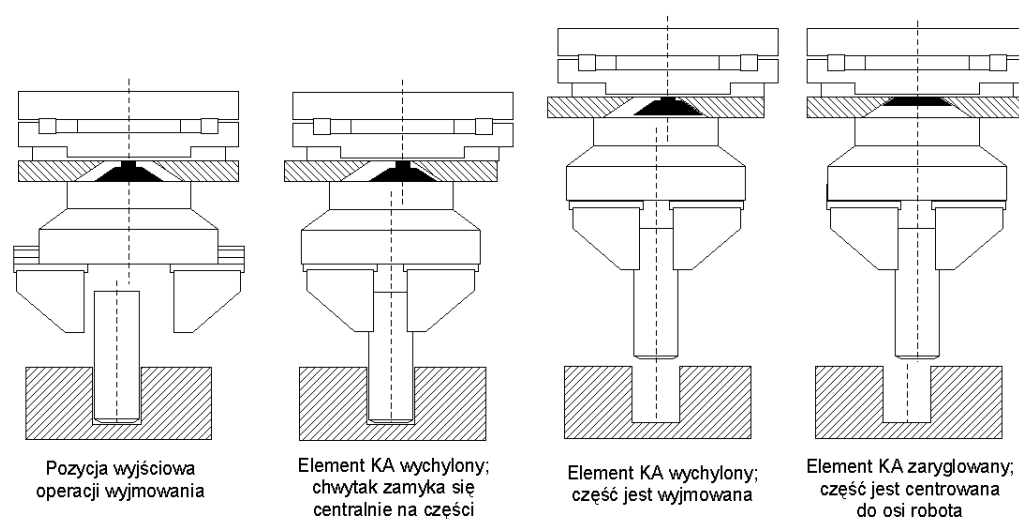
Rys. 4.20. Działanie urządzeń wspomagających kojarzenie serii FM firmy IPR [11]

Seria FM, oferowana przez firmę IPR, zawiera typoszereg urządzeń, umożliwiających kompensację błędów przy kojarzeniu części walcowych o średnicach od 50 do 300 mm. Istnieją różne formy wykonania tych elementów [20]:

- FM – G – najprostsza wersja, zawierająca dwie płyty połączone elementami elastomerowymi; nadaje się ona do montażu małych i lekkich elementów z małymi prędkościami dojazdu,
- FM – U – wersja z dwoma sworzniami przeciążeniowymi, chroniącymi przed ruchami wahadłowymi i ograniczającymi drgania,

- FM – P – wersja z cylindrem pneumatycznym umożliwiającym zablokowanie położenia elementu; stosowana jest przy montażu ciężkich elementów,
- FM – V – wersja z blokadą obrotu wokół głównej osi kojarzenia; stosowana jest, gdy wymagane jest przenoszenie dużych momentów skręcających.

Urządzenia serii FM pozwalają na kompensację błędów liniowych w granicach ± 3 mm i kątowych w granicach $\pm 2^\circ$. Istotnymi parametrami charakteryzującymi te urządzenia, oprócz wymienionych, są: dopuszczalna masa obciążająca urządzenie RCC (masa chwytaka plus masa montowanej części), dopuszczalna łączna długość części i chwytaka, sztywności w poszczególnych osiach.



Rys. 4.21. Działanie elementów wspomagających kojarzenie serii KA firmy IPR [11]

Inną konstrukcją i sposobem działania mają urządzenia RCC serii KA również firmy IPR. Podstawowymi elementami kompensującymi błędy położenia są dwie prostopadłe ułożone prowadnice współpracujące z siłownikiem centrującym (rys. 4.21). Elementy tej serii pozwalają na kompensację jedynie błędów liniowych w płaszczyźnie prostopadłej do głównego kierunku montażu, ale za to w dużych granicach ($\max \pm 15$ mm). Podobnie jak w serii FM, parametrami określającymi zakres ich stosowania są: dopuszczalna masa kojarzonej części razem z chwytakiem oraz dopuszczalne siły i momenty oddziałujące na urządzenie.

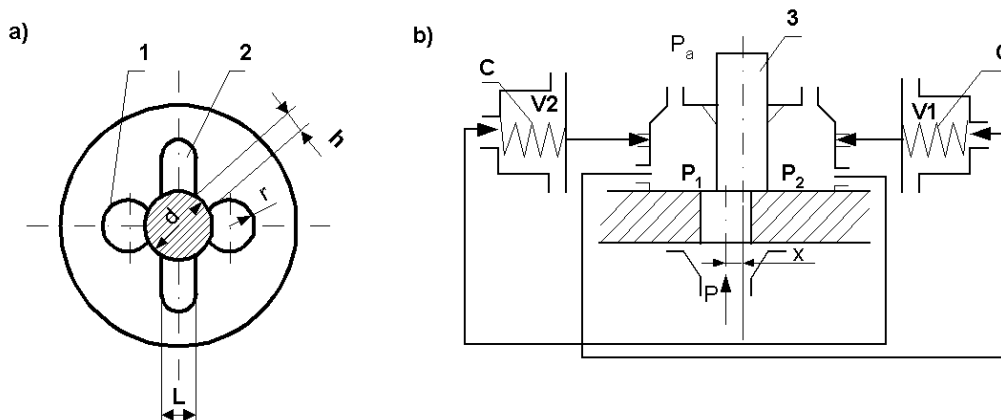
Istnieją również elementy charakteryzujące się podatnością w osi Z, czyli służące kompensacji błędów liniowych w kierunku głównego ruchu montażowego oraz kontroli sił występujących w montażu. Interesującym rozwiązaniem jest połączenie urządzeń serii FM z elementami podatnymi w osi Z. Elementy te można łączyć, otrzymu-

jąc w efekcie urządzenie wielostopniowe. Do niektórych zadań montażowych można również łączyć elementy w obrębie jednej serii. Zwiększa się dzięki temu możliwości kompensacji błędów.

Wykorzystanie strumienia powietrza

Wśród ogromnej liczby montowanych części istnieje duża liczba przedmiotów wyróżniających się takimi cechami, że stosowanie podatnych elementów do ich orientowania jest mało efektywne lub niemożliwe. Z tego też powodu rozwinęły się inne metody orientowania, w których siłowe oddziaływanie mechaniczne zostało zastąpione siłowym lecz bezkontaktowym działaniem pól pneumatycznych [19]. Metody te umożliwiają szybkie orientowanie przedmiotów o małej masie i ukrytych wyróżnikach, które są wykorzystywane do ich orientacji. Zastosowanie metod pneumatycznych jest efektywne i ekonomicznie uzasadnione dla przedmiotów o małej gęstości i dużych powierzchniach oporowych. Wadą tych metod jest konieczność indywidualnego traktowania każdego przypadku, a co za tym idzie mała elastyczność konstruowanych urządzeń. Konieczna jest również znajomość zjawisk towarzyszących przepływowi powietrza. W dalszej części tego rozdziału przedstawiono przykłady zastosowania metod pneumatycznych.

Częstym wykorzystaniem strumienia powietrza jest uzyskanie siły, koniecznej do kompensacji błędów, dzięki powstałej różnicy ciśnień, będącej wynikiem braku współosiowości łączonych części. Układ dąży do wyrównania ciśnienia, a tym samym powoduje odpowiednie przesunięcie kojarzonej części. Przykładem takiego rozwiązania jest mechanizm pokazany na rysunku 4.22.



Rys. 4.22. Schemat pneumatycznego osiowania części:

- a) odmiany wybrań w kanałach powietrznych b) korekcyjny mechanizm pneumatyczny [21]
 (V – objętość komór, P – ciśnienie, c – sztywność sprężyn, d , h , r , L – parametry geometryczne,
 x – początkowa niewspółosiowość; 1, 2 – kanały powietrzne, 3 – orientowany wałek)

Mechanizm ten realizuje połączenie w sposób pneumatyczny. Dzięki doprowadzeniu powietrza do otworów 1 lub 2, w różnych strefach centrujących wałek ustala się różne ciśnienie, które steruje membranowymi napędami przemieszczającymi wałek aż do uzyskania pełnej współosiowości z otworem [21].

Innym przykładem zastosowania sił pneumatycznych jest wykorzystanie wirującego strumienia powietrza [21]. Zasada działania urządzenia polega na umieszczeniu części w tulei z luzem od 1 do 5 mm, w której wytwarza się wirujący strumień powietrza. Pod działaniem sił tego strumienia część zaczyna wykonywać ruchy wibracyjne, których trajektoria zależy od geometrii części, tulei i charakterystyk strumienia. Stosowanie tego sposobu zapewnia montowalność różnorodnych części z przesunięciem osi do 3–4 mm, w ciągu 0,1–0,6 s [21].

Istnieje również wiele innych urządzeń, w których wykorzystany jest strumień powietrza jako czynnik wspomagający proces kojarzenia. Są to jednak często urządzenia wykorzystujące charakterystyczne elementy w budowie części i dlatego nie są to rozwiązania uniwersalne. Konieczne jest więc indywidualne podejście do każdego zadania montażowego, uwzględniające wszystkie jego charakterystyczne cechy [19].

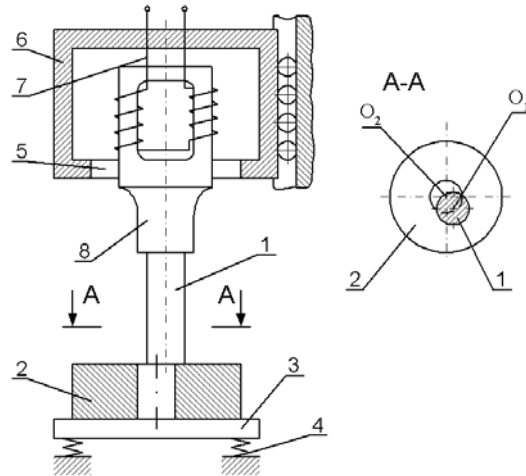
Zastosowanie sił magnetycznych

Do orientowania i pozycjonowania przedmiotów można zastosować działające na nie siły powstające w wyniku oddziaływania pola elektrostatycznego, magnetycznego lub elektromagnetycznego. W statycznym polu elektrycznym możliwe jest orientowanie przedmiotów wykonanych z materiałów nie przewodzących prądu elektrycznego oraz naładowanych przedmiotów przewodzących. W polu magnetycznym znaczące siły można otrzymać tylko dla przedmiotów wykonanych z materiałów ferromagnetycznych, czyli stali magnetycznych oraz ferrytów. W polu elektromagnetycznym można wytworzyć siły działające na przedmioty przewodzące prąd elektryczny. W praktyce znaczenie ma wykorzystanie pola magnetycznego dla przedmiotów ferromagnetycznych, które ustawiają się wzdłuż linii pola i dążą do przylegania do jednego z nabiegunników.

Urządzenia wykorzystujące siły magnetyczne do orientowania i pozycjonowania części w trakcie procesu kojarzenia są stosowane bardzo rzadko i podobnie jak dla metod pneumatycznych, nie jest tutaj możliwe podanie ogólnej koncepcji ich budowy. Każdorazowo należy podejść do zagadnienia indywidualnie, co niewątpliwie dla montażu w krótkich i średnich seriach nie będzie miało uzasadnienia ekonomicznego [19].

Metody wibracyjne

Metody wibracyjne polegają najczęściej na nadaniu jednej z kojarzonych części ruchu wibracyjnego w płaszczyźnie prostopadłej do głównego kierunku montażu. Amplituda drgań części powinna być większa od największego, możliwego wzajemnego przesunięcia osi montażowych łączonych części. Najczęściej do wytworzenia drgań stosuje się wibratory elektromagnetyczne. Stosuje się także inne rozwiązania (np. ultradźwiękowe – rys. 4.23) [21].



Rys. 4.23. Schemat osiowania części pod działaniem drgań ultradźwiękowych [21]:
 1 – wałek, 2 – tuleja, 3 – platforma z oporami, 4, 5 – zawieszenie przetwornika magnetostrykcyjnego,
 6 – obudowa, 7 – uzwojenie, 8 – wzmacniacz amplitudy

Zakres stosowania tych urządzeń zależy od masy części, kształtu zewnętrznego, materiału, stanu powierzchni itd., dlatego zaliczane są one przeważnie do wyposażenia specjalnego. W konkretnych zastosowaniach odznaczają się prostą konstrukcją, małym zapotrzebowaniem mocy, pewnością działania, dużą możliwością regulacji i możliwością orientowania przedmiotów o złożonych kształtach. Miejscem ich instalacji jest zwykle stół montażowy, gdzie wibracje powodują ustawienie się części w żądanej pozycji, choć można spotkać również rozwiązania, w których urządzenia te zainstalowane są na końcówce robota [28, 30].

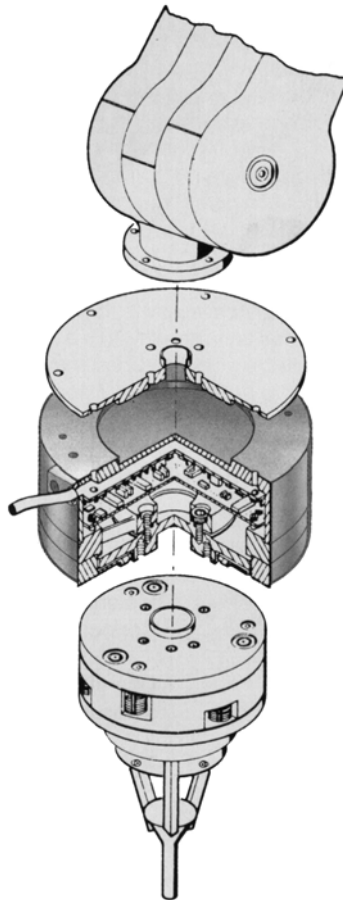
4.3.2. Aktywne urządzenia kompensacyjne

Podstawową cechą aktywnych urządzeń kompensacyjnych są zintegrowane w nich czujniki. Regulacja położenia końcówki robota odbywa się na podstawie przetworzonych danych z czujników. Schemat regulacji w systemach aktywnych przedstawiono na rysunku 4.25.

W praktyce rozróżnia się urządzenia z czujnikami dotykowymi i bezdotkowymi. Przy zastosowaniu czujników dotykowych bazuje się głównie na czujnikach siły i momentu (rys. 4.24). Regulacja realizowana jest tutaj na podstawie planowanego przebiegu sił, występujących w danym procesie kojarzenia lub ich minimalizacja [19]. W pierwszym przypadku sygnały zbierane z czujników są stale porównywane z założonym przebiegiem i w zależności od aktualnych odchyłek korygowana jest pozycja robota. W systemach minimalizujących występujące siły oddziaływujące na kojarzone części dąży się

do zmniejszenia ich wartości w poszczególnych kierunkach. Przemieszczenia robota następują w kierunkach zmierzających do zmniejszenia mierzonych sił. Regulacja jest realizowana w pętli sprzężenia zwrotnego (rys. 4.25). Zaletami takich urządzeń są [19]:

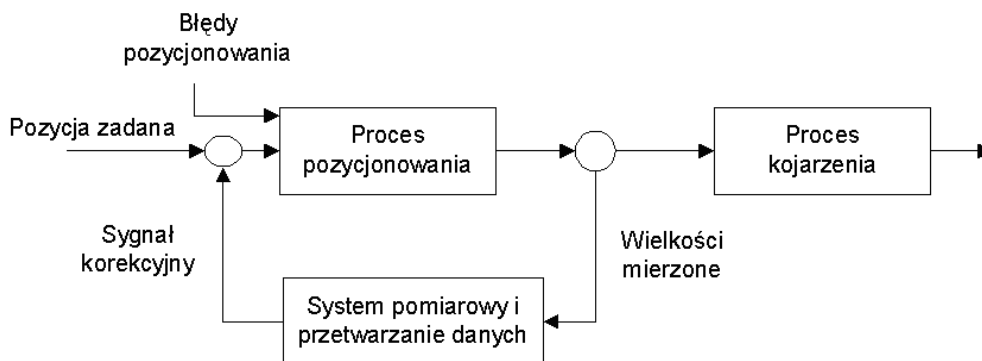
- duże dopuszczalne błędy wzajemnego położenia i orientacji łączonych części,
- możliwość kontrolowania i regulowania sił podczas kojarzenia.



Rys. 4.24. Czujnik momentu i siły firmy SCHUNK jako wyposażenie technologiczne robota montażowego [14]

Do wad natomiast należą [19]:

- długi czas pozycjonowania, wynikający z konieczności przetwarzania danych,
- wysoki koszt czujników i elementów sterujących,
- mała pewność działania.



Rys. 4.25. Schemat procesu regulacji w aktywnych urządzeniach kompensacyjnych [28]

W przypadku czujników bezdotykowych mamy do czynienia przede wszystkim z czujnikami indukcyjnymi i optycznymi. Systemy wizyjne wspomagające montaż dzieli się na trzy klasy, realizujące następujące funkcje:

- widzenie i poruszanie,
- widzenie, poruszanie i dotyk,
- optyczne systemy regulacji.

Z najmniejszymi kosztami należy liczyć się w pierwszym przypadku. Systemy te mają za zadanie dostarczyć sterowaniu robota głównie informacji o wzajemnym położeniu części przed rozpoczęciem samego ich kojarzenia. W drugim przypadku dochodzi ciągle rejestrowanie parametrów procesu przez czujniki momentu i siły, wspomagając przez to precyzyjne pozycjonowanie i orientowanie części, oraz nadzorowanie całego przebiegu procesu kojarzenia. Optyczne systemy regulacji, ze względu na trudności techniczne, nie znajdują powszechnego zastosowania w przemyśle.

Do najważniejszych wad aktywnych wizyjnych urządzeń kompensujących należą [19]:

- trudności z przetwarzaniem uzyskanych obrazów w czasie rzeczywistym,
- czasochłonna kalibracja kamery zainstalowanej nad obszarem roboczym robota,
- konieczność stosowania specjalnego oświetlenia dla uzyskania dobrego kontrastu i ostrości obrazu.

Problemy te można częściowo rozwiązać przez zastosowanie optyki laserowej. Wadą tego rozwiązania jest jednak to, że można uzyskać tylko wycinek całości obrazu. Aby uzyskać większą ilość informacji, należy stosować czasochłonne skanowanie obrazu. Podstawowym czynnikiem hamującym zastosowanie podanych rozwiązań jest ich koszt, przekraczający niejednokrotnie cenę pozostałej części urządzenia montażowego. Widać więc, że zastosowanie aktywnych urządzeń jest podyktowane względami jakościowymi (niemożliwość uzyskania dokładności innymi metodami) lub specjalnymi względami, np. obronność kraju.

Przy rozpatrywaniu aktywnych urządzeń kompensacyjnych należy podkreślić, że podczas normalnej pracy decydują one o wartości zamierzonych uchybów liniowych i kątowych położenia chwytaka, a wartości te są wykorzystywane przez układ sterowania. Ich konstrukcja i sposób działania nie są powiązane z łańcuchem wymiarowym zespołu chwytaka, przez co nie powodują pogorszenia dokładności pracy robota [19]. Jest to jeden z nielicznych funkcjonalnych elementów łańcucha kinematycznego operacji montażowej, który praktycznie pozbawiony jest tej wady. Niestety, wysokie koszty ich adaptacji uniemożliwiają powszechne zastosowanie aktywnych urządzeń kompensacyjnych w zrobotyzowanym montażu.

4.3.3. Mieszane urządzenia kompensacyjne

Urządzenie mieszane powstaje z dowolnej kombinacji co najmniej dwóch wcześniej opisanych urządzeń. Celem tworzenia takich kombinacji jest optymalne wykorzystanie zalet poszczególnych urządzeń, z jednoczesną eliminacją specyficznych dla każdej grupy wad. Przykładem tego może być połączenie biernego urządzenia o charakterze elementu RCC i urządzeń aktywnych, bazujących na przetwarzaniu danych z czujników. Do momentu osiągnięcia krytycznych sił reakcji, proces montażu jest kontrolowany przez element RCC, po przekroczeniu zaś wartości krytycznych następuje „doregulowanie” za pomocą systemu aktywnego, mające na celu zmniejszenie krytycznych sił reakcji mogących prowadzić do zakleszczenia lub zniszczenia części [19]. System taki zwiększa możliwości bierne urządzeń, skraca czas obróbki danych z czujników oraz przyspiesza przebieg procesu montażu.

4.3.4. Urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi

Urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi są powszechnie stosowane w elastycznych systemach montażowych jako dodatkowe wyposażenie robotów. Dzięki nim możliwe jest wykonywanie różnych operacji montażowych w dowolnej kolejności, na jednym stanowisku, bez konieczności przezbrajania i kalibrowania robota.

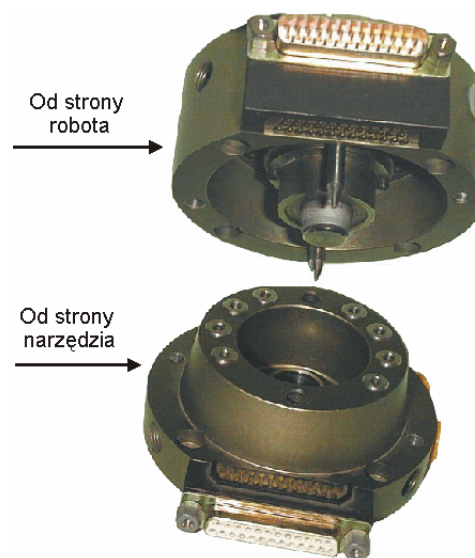
Urządzenia te stosuje się wówczas, gdy [19]:

- robot wykonuje różnorodne operacje technologiczne i wymaga różnych narzędzi,
- robot wykonuje operacje lub zabiegi montażowe, których nie można wykonać jednym narzędziem (np. trzeba zastosować chwytaki o różnym skoku, sile chwytania, kierunku działania itp.)
- nie można zaprojektować takiego kształtu szczęk chwytnych, którymi można byłoby pewnie uchwycić wszystkie manipulowane części przewidziane do montażu na danym stanowisku,

- wyposażenie robota w specjalistyczne urządzenia, niezbędne do wykonania jednego zabiegu lub operacji montażowej, przy kolejnej operacji stanowi źródło błędów lub może ulec uszkodzeniu,

- masa bądź wymiary uniwersalnej końcówki technologicznej robota uniemożliwiają jej stosowanie lub nie pozwalają na to inne przyczyny (np. ekonomiczne, bezpieczeństwa pracy itp.).

Przykładowe urządzenie do automatycznej wymiany narzędzi firmy IPR przedstawiono na rys. 4.26. Konstrukcja tych urządzeń, stosowanych w zrobotyzowanym montażu, jest różna i zależy od producenta. Zawsze jednak można wyróżnić parę współpracujących elementów, z których jeden jest montowany na stałe do końcówki robota, a drugi dołączany jest do każdego automatycznie pobieranego narzędzia.



Rys. 4.26. Urządzenie do automatycznej wymiany narzędzi RHC-2 firmy IPR [12]

Niezależnie od konstrukcji każde urządzenie do automatycznej wymiany narzędzi powinno charakteryzować się następującymi cechami [19]:

- realizowane przez współpracujące elementy połączenie mechaniczne powinno zapewniać samoczynne ich orientowanie i pozycjonowanie w trakcie operacji pobierania narzędzia z magazynu,

- zrealizowane połączenie mechaniczne powinno być pewne i gwarantować przenoszenie sił i momentów we wszystkich fazach procesu montażowego, bez zmiany wzajemnego położenia lub orientacji współpracujących elementów,

- układ realizujący sztywne połączenie obu elementów nie może dopuścić do ich samoistnego rozłączenia się w przypadku zaniku jego zasilania,

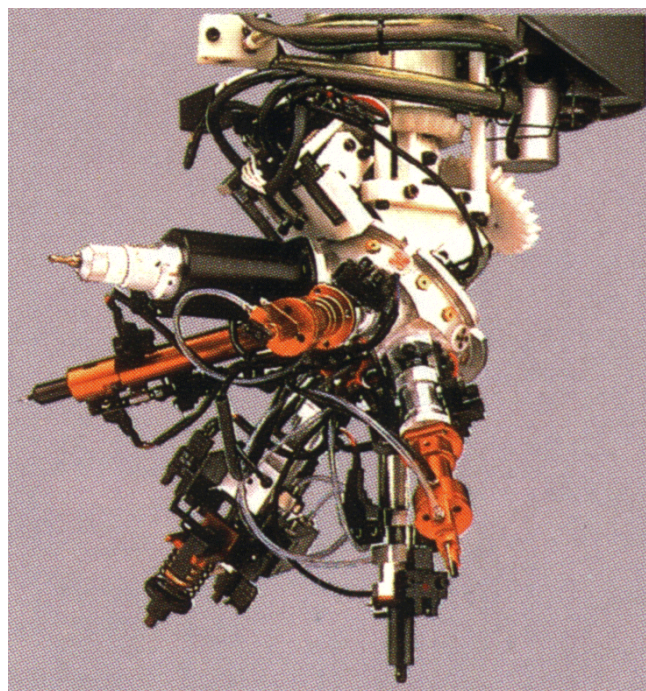
- urządzenie powinno być wyposażone w złącze pneumatyczne (np. do zasilania narzędzi) oraz, wymagane w wielu przypadkach, złącze elektryczne (np. do odbierania sygnałów z czujników wbudowanych w narzędzie).

Podstawowymi wadami urządzeń do automatycznej wymiany narzędzi są [19]:

- długi czas wymiany, który istotnie wydłuża czas wykonania operacji montażowej,
- konieczność zakupu tylu elementów tego urządzenia (montowanych od strony narzędzia), ile narzędzi jest w magazynie,
- zajmowanie przestrzeni pracy robota przez magazyn narzędzi, co może prowadzić do ograniczenia liczby operacji montażowych realizowanych na danym stanowisku (np. brak miejsca dla magazynów i podajników części).

4.3.5. Głowice rewolwerowe

Wymienionych poprzednio wad nie mają głowice rewolwerowe z narzędziami na stałe zamocowanymi na kolejnych pozycjach. Ich rozmieszczenie jest najczęściej podyktowane przebiegiem procesu montażu, tzn. że narzędzia zajmują pozycje zgodnie z kolejnością wykorzystywania ich podczas montażu. Przykładową głowicę rewolwerową uzbrojoną w 6 narzędzi przedstawiono na rys. 4.27.



Rys. 4.27. Głowica rewolwerowa zainstalowana na końcówce robota (firma SONY)

Dużymi zaletami tego rozwiązania są niewątpliwie: krótki czas wymiany narzędzi, zwarta budowa oraz duża powtarzalność pozycjonowania. Głowice rewolwerowe mają jednak wady, które zdecydowały o niezbyt powszechnym stosowaniu tego typu urządzeń. Spowodowane jest to tym, że [19]:

- liczba narzędzi mocowanych na głowicy jest ograniczona (najczęściej 2–6),
- wymiana lub naprawa jednego narzędzia uniemożliwia pracę pozostałych,
- narzędzia nie mogą mieć dużej masy, gdyż mogłoby to pogorszyć dokładność pozycjonowania robota,
- głowicy rewolwerowej nie można stosować w miejscach montażowych trudno dostępnych,
- kolizja lub inna awaria powoduje najczęściej uszkodzenie kilku narzędzi jednocześnie,
- przebrojenie robota jest kosztowne, gdyż wymaga zaprojektowania wszystkich narzędzi.

Oczywiście wady te zmniejszają się wraz ze zmniejszaniem liczby narzędzi na głowicy, stąd też można spotkać rozwiązania, w których stosowane są głowice dwupozycyjne, wyposażone dodatkowo na każdej pozycji w urządzenie do automatycznej wymiany narzędzi. Umożliwia to jednoczesną wymianę dwóch narzędzi, co istotnie skraca kosztowny czas pomocniczy.

4.3.6. Urządzenia antykolizyjne

Urządzenia antykolizyjne mają za zadanie ograniczyć niekorzystne skutki wystąpienia kolizji kojarzonych części, robota i jego wyposażenia technologicznego. Zastosowanie tego prostego i taniego urządzenia może zapobiec dużym stratom związanym nie tylko z uszkodzeniem drogiego oprzyrządowania lub samego robota, ale także może zapobiec długotrwałym przestojom w produkcji, związanym z usuwaniem skutków awarii.

Urządzenia tego typu zbudowane są najczęściej z dwóch elementów mechanicznych, współpracujących ze sobą na zasadzie pneumatycznego zaworu bezpieczeństwa. Podczas normalnej pracy oba elementy połączone są ze sobą na sztywno i można traktować je jako przedłużenie ostatniego ramienia robota. Po przekroczeniu zadanej wartości siły lub momentu siły w dowolnym kierunku następuje gwałtowne jednak rozsprężenie obu elementów i sztywne połączenie zastępowane jest połączeniem ruchomym, o sześciu stopniach swobody (oczywiście o ograniczonych zakresach względnych przemieszczeń liniowych i kątowych) [19]. W momencie zadziałania urządzenia antykolizyjnego wysyłany jest sygnał do sterownika robota, który w czasie wzajemnego przemieszczania się wspomnianych elementów, bezpiecznie wyhamowuje ramię robota. Przykładowe urządzenie antykolizyjne przedstawiono na rysunku 4.28.

W urządzeniach tych wartości sił i momentów sił, przy których następuje zadziałanie, można określać (w pewnych granicach) za pomocą wartości ciśnienia powietrza zasilającego. Jest to o tyle korzystne, że przy wykonywaniu różnych zabiegów montażowych mogą być wymagane różne poziomy ochrony.



Rys. 4.28. Urządzenie antykolizyjne typu OPS firmy SCHUNK [14]

Urządzenia antykolizyjne, mimo niskiej ceny, nie są niestety powszechnie stosowane w przemyśle ze względu na ich liczne wady. Najważniejsze z nich to [19]:

- mała powtarzalność pozycjonowania i orientowania współpracujących części, niejednokrotnie wymuszająca konieczność ponownej korekcji współrzędnych wszystkich punktów montażowych, zapamiętanych w sterowaniu robota po wystąpieniu kolizji,
- brak 100% pewności zabezpieczenia, chronionych przez te urządzenia, elementów przed uszkodzeniem, ze względu na dużą dynamikę ruchów współczesnych robotów, a przez to długie drogi hamowania.

4.4. Planowanie wyposażenia robotów montażowych z uwagi na dokładność pozycjonowania i orientowania

Podstawowym warunkiem osiągnięcia wysokiej niezawodności pracy systemu montażowego jest spełnienie warunku montowalności dla wszystkich kojarzonych części. Montowalność jest miarą przydatności elementów do łączenia w jednostki montażowe i zależy od konstrukcji elementu, sposobu łączenia i budowy automatu montażowego [21]. Montowalność jest charakteryzowana wartościami tolerancji montowanych elementów oraz wartościami dopuszczalnych przemieszczeń liniowych i kątowych w przestrzeni, w granicach których możliwy jest jeszcze ich montaż [21].

Chociażby ze względu na zmienności naturalne w bliższym i dalszym otoczeniu procesu montażu niemożliwe jest wyeliminowanie rozrzutów wzajemnego pozycjonowania i orientowania kojarzonych części. Niedokładności, które stanowią barierę dla poprawnego montażu muszą zostać skorygowane automatycznie podczas przebiegu procesu montażu, dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu łańcucha kinematycznego operacji montażowej (ze względu na jego dokładność i funkcjonalność) [17, 18]. Łańcuch kinematyczny jest tu rozumiany jako powiązane ze sobą, w ściśle określony sposób, urządzenia technologiczne, zarówno od strony części manipulowanej, jak i od strony części bazowej, wraz z tymi częściami. Opis matematyczny łańcucha kinematycznego określa powiązanie wszystkich jego elementów zarówno ze względu na jego kinematykę, jak i funkcjonalność. A zatem, opis ten określa, jakich wielkości uchybów liniowych i kątowych wzajemnego położenia i orientacji kojarzonych części można się spodziewać i czy funkcjonalność tego łańcucha umożliwi ich kompensację. Proces automatycznego montażu można podzielić na następujące etapy [21]:

- dostarczanie kojarzonych elementów na stanowisko montażowe,
- magazynowanie, orientowanie, kasetowanie, sortowanie i pozycjonowanie części, chwytanie części,
- przeniesienie do pozycji montażu,
- wzajemne pozycjonowanie,
- wzajemne orientowanie,
- łączenie,
- utrwalanie,
- opuszczanie stanowiska montażowego przez zmontowany podzespół lub gotowy wyrób.

Najważniejszymi etapami takiego procesu jest wzajemne pozycjonowanie i orientowanie. Tutaj bowiem następuje kumulacja wszystkich błędów wcześniejszych etapów, nie tylko procesu montażowego, ale także procesu wytwarzania części. W momencie, gdy określony jest już rodzaj połączenia [31], konstrukcja części, technologie ich wykonania, sposób montażu, wtedy tylko od odpowiednio zaprojektowanego łańcucha kinematycznego operacji montażowej zależy, czy części zostaną odpowiednio pozycjonowane i zorientowane względem siebie i czy dalsze ich łączenie będzie przebiegało bez zakłóceń.

W procesie montażu automatycznego, a w szczególności zrobotyzowanego, stosuje się wiele urządzeń mocowanych na końcówce wykonawczej jednostki montażowej, które opisano w rozdziale 4.3. Urządzenia te są niezbędne do poprawnego przebiegu procesu kojarzenia kolejnych części w wyrobie, zwiększają wydajność samego procesu lub jego bezpieczeństwo. Bez takich urządzeń, jak chwytaki, urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi, urządzenia wspomagające wzajemne pozycjonowanie i orientowanie kojarzonych części, urządzenia antykolizyjne, roboty montażowe nie byłyby w stanie przeprowadzić jakiegokolwiek operacji montażowej, stąd od kilkadziesiąt lat wiele firm w świecie specjalizuje się w ich projektowaniu i udoskonalaniu.

Urządzenia te są coraz bardziej niezawodne, powstają odmiany specjalizowane dla konkretnych rodzajów procesów montażowych lub specyficznych części. Ich konstrukcja umożliwia współpracę z wieloma urządzeniami innych firm, jednym słowem, są coraz bardziej doskonałe pod względem funkcjonalnym.

Mają jednak wciąż jedną podstawową wadę, której nie można łatwo i tanio wyeliminować, a którą trzeba mieć na uwadze podczas projektowania wyposażenia technologicznego robotów montażowych. Wadą tą są wprowadzane przez te urządzenia dodatkowe niedokładności w pozycjonowaniu i orientowaniu manipulowanej części lub głowicy technologicznej. Niedokładności te są bardzo często dużo większe od tych, które pochodzą od robota i mogą doprowadzić do znaczącego zmniejszenia współczynnika niezawodności pracy zrobotyzowanego stanowiska montażowego. Problem ten stał się obecnie, w dobie produkcji mało- i średnioseryjnej, bardzo istotny, gdyż coraz częściej dąży się do zwiększenia możliwości funkcjonalnych stanowisk zrobotyzowanych przez skrócenie czasu przebrojenia. Stąd wyposażenie robotów montażowych jest bardzo bogate. Łatwo można zauważyć, że nie idzie to w parze z poprawą dokładności wzajemnego pozycjonowania i orientowania kojarzonych części, a często jest powodem uniemożliwiającym wręcz poprawny przebieg procesu montażu. Z tego powodu projektant zrobotyzowanych stanowisk montażowych powinien mieć do dyspozycji narzędzia umożliwiające szybkie oszacowanie dokładności pozycjonowania i orientowania końcówki technologicznej robota, z zastosowaniem różnych jej konfiguracji, w celu doboru takiej, która będzie kompromisem między precyzją a funkcjonalnością.

Zazwyczaj roboty przemysłowe dostarczane są do użytkownika z lakoniczną informacją dotyczącą ich dokładności. Dla przykładu robot SCARA SR800 firmy Bosch ma podaną w dokumentacji powtarzalność równą $\pm 0,025$ mm [8] dla wszystkich osi globalnego układu współrzędnych z zachowaniem określonych warunków. Jednym z takich warunków jest nieprzekroczenie ustalonego maksymalnego obciążenia. Robot rzadko pracuje z maksymalnym obciążeniem, a i jego powtarzalność pozycjonowania nie jest jednakowa we wszystkich punktach pracy. Jak więc można określić jego parametry dokładnościowe w danym punkcie pracy, przy danym obciążeniu? Jest to obecnie niemożliwe bez wykonania własnych pomiarów. Wspomnieć należy tu jeszcze o tym, że nie została w ogóle poruszona, w dokumentacji tego robota, sprawa powtarzalności orientowania końcówki, co ma dla niektórych rodzajów operacji montażowych podstawowe znaczenie.

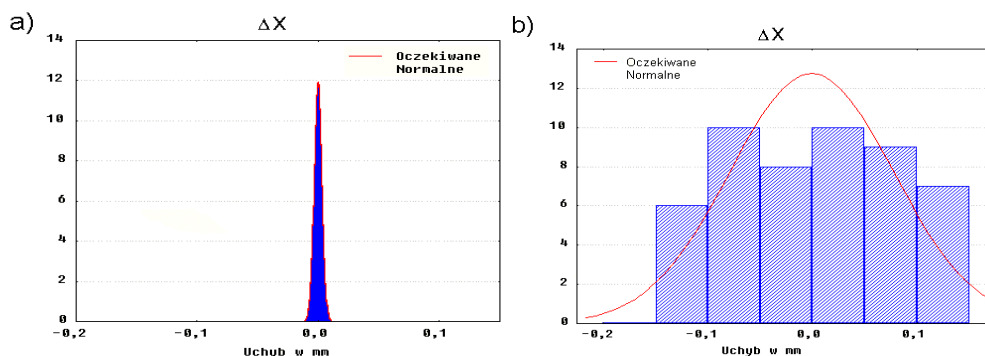
Podobne problemy można napotkać, sięgając do dokumentacji oprzyrządowania technologicznego robotów montażowych innych producentów. Dla przykładu, firma IPR podaje dla urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi model RHC-2, powtarzalność dla wszystkich osi $\pm 0,025$ mm [12], również nie wspominając o dokładności wzajemnej orientacji współpracujących części urządzenia (od strony robota i od strony narzędzia). Z badań tego urządzenia wykonanych w ITMiA okazało się, że powtarzalność we wszystkich osiach jest dużo większa i wynosi maksymalnie ± 3 μ m (przyjęto

uważać za powtarzalność 99,73% obszaru rozproszenia, co dla rozkładu normalnego odpowiada $\pm 3\sigma$), czyli jest porównywalna z dokładnością maszyny pomiarowej, na której były wykonywane pomiary [17, 18]. Ponadto, powtarzalność orientowania wokół osi z (oś symetrii obrotowej korpusu urządzenia) jest już znacznie gorsza i wynosi ok. $\pm 0,33^\circ$, o czym producent nie informuje w dokumentacji, a co może uniemożliwić wykonywanie takich operacji montażowych, jak np. wkładanie wałka z wielowypustem [19].

Dla porównania firma SCHUNK [14] podaje dla swojego urządzenia tego typu (GWK-1) podobne parametry jak firma IPR, jednak powtarzalność w kierunku osi o najgorszym wyniku pomiarów wynosi $\pm 0,072$ mm [17, 18]. Z kolei powtarzalność orientowania wokół analogicznej osi Z jest znacznie lepsza i wynosi ok. $\pm 0,14^\circ$. Jak widać z tego przykładu, urządzenia spełniające identyczne funkcje, a pochodzące od różnych producentów różnią się parametrami. Fakt ten musi zostać uwzględniony w trakcie planowania procesu montażu.

Na podobne problemy natrafić można chcąc użyć każde inne urządzenie montowane na końcówce robota. Za przykład służyć tu może bierne urządzenie wspomagające pozycjonowanie model FM-Ü 100 firmy IPR, stosowane do biernej kompensacji uchybów wzajemnego pozycjonowania i orientowania kojarzonych części. Parametry opisujące tę funkcję urządzenia można odczytać w dokumentacji technicznej i dla wspomnianego modelu kompensacja błędów liniowych wynosi ± 2 mm, a kątowych $\pm 2^\circ$ [11]. Nie wspomina się jednak nic o uchybach pozycjonowania i orientowania, jakie wnosi same urządzenie wspomagające. Po przeprowadzeniu badań okazało się, że przy losowych obciążeniach powtarzalność liniowa (w kierunku osi roboczych urządzenia) sięga $\pm 0,045$ mm, a w przypadku gdy obciążenia te są jednokierunkowe, powtarzalność pogarsza się do ok. $\pm 0,17$ mm [17, 18]. Jest to bardzo duża wartość w porównaniu do powtarzalności samego robota montażowego. Stąd też kolejne „dokładane” urządzenia mogą być odpowiednie ze względu na realizowane przez nie funkcje, ale całkowicie nieodpowiednie ze względu na wprowadzane dodatkowe niedokładności wzajemnego pozycjonowania i orientowania kojarzonych części.

Dla zobrazowania skali problemu na rysunku 4.29 przedstawiono przykładowy wykres rozrzutu pozycjonowania końcówki robota SCARA typu SR800 firmy Bosch w płaszczyźnie poziomej bez wyposażenia (wykres a), oraz z zamocowanymi dodatkowymi urządzeniami (wykres b): urządzeniem do automatycznej wymiany narzędzi RHC-2 firmy IPR oraz biernym urządzeniem wspomagającym kojarzenie FM-Ü 100 firmy IPR. Urządzenia te podczas pomiarów były poddane normalnej eksploatacji, tzn. w każdym cyklu pomiarowym następowało odstawienie i pobranie „narzędzia” (kończówki pomiarowej) oraz wywierano siłę o losowo wybranym kierunku, powodującą maksymalne odkształcenie elementów sprężystych w urządzeniu wspomagającym. Jak łatwo zauważyć, powtarzalność najazdu końcówki roboczej zmniejszyła się co najmniej 10 razy.

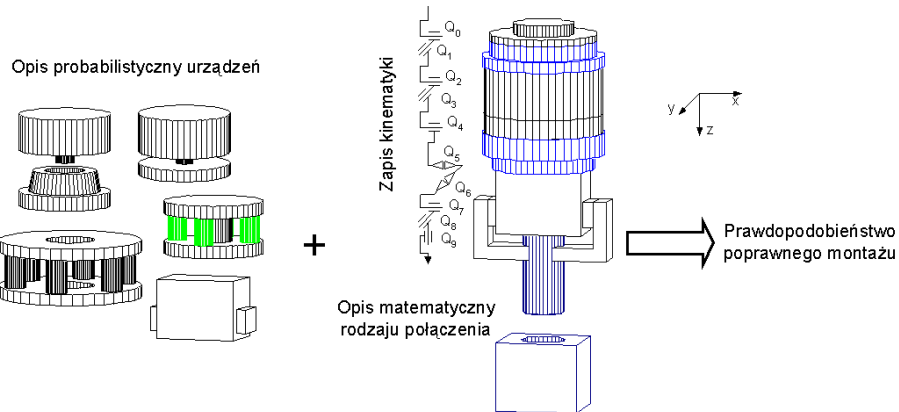


Rys. 4.29. Histogramy pozycjonowania końcówki wykonawczej robota montażowego typu SCARA w osi X bazowego, kartezjańskiego układu współrzędnych [19]: a) bez dodatkowego wyposażenia, b) z urządzeniem do automatycznej wymiany narzędzi i biernym urządzeniem wspomagającym proces kojarzenia

Analogiczna sytuacja zachodzi dla urządzeń montażowych używanych do podania i pozycjonowania części bazowej. Reasumując, wszystkie urządzenia wchodzące w skład łańcucha kinematycznego operacji montażowej są źródłem błędów wzajemnego pozycjonowania i orientowania montowanych części. Podzielić je można na błędy występujące [19]:

- od strony manipulowanej części, których źródłem są:
 - roboty montażowe,
 - dodatkowe wyposażenie końcówki robota (np. urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi, urządzenia antykolizyjne, podatne mocowanie narzędzi itd.),
 - narzędzia wykonawcze (np. chwytaki, głowice wkrętarskie, nitownice itd.).
- od strony części bazowej, których źródłem są:
 - systemy transportowe,
 - urządzenia pozycjonujące,
 - palety transportowe,
 - palety montażowe,
 - urządzenia mocujące.

W ITMiA Politechniki Wrocławskiej opracowano metodę, dzięki której można wyznaczyć prawdopodobieństwa poprawnego wykonania operacji zrobotyzowanego montażu ze względu na łańcuch kinematyczny operacji montażowej, a dzięki temu korzystnie, ze względu na koszty, dobrać wszystkie komponenty tego łańcucha [17–19]. Metoda ta uwzględnia jednocześnie: parametry i właściwości zastosowanych urządzeń, kolejność ich podłączenia, sposób mocowania kojarzonych części oraz rodzaj realizowanego połączenia. Tylko dzięki takiemu połączeniu wszystkich wymienionych składników obliczone prawdopodobieństwo dostatecznie dobrze opisuje rzeczywistą niezawodność przebiegu analizowanego procesu montażu (rys. 4.30).



Rys. 4.30. Idea metody wyznaczania prawdopodobieństwa poprawnego montażu ze względu na łańcuch kinematyczny operacji montażowej [19]:

Q_1, \dots, Q_n – zmienne losowe opisujące geometrię miejsca styku łączonych elementów oraz uchyby liniowe i kątowe w „wirtualnych przegubach” kinematycznego łańcucha operacji montażu

Na rysunku 4.30 przedstawiono tylko wybrany, przykładowy, wycinek łańcucha kinematycznego operacji montażowej. Jest to jednak najważniejszy jego fragment, gdyż wyposażenie technologiczne robota montażowego decyduje nie tylko o wprowadzanych do procesu dodatkowych uchybach kątowych i liniowych kojarzonej części, ale także w głównej mierze decyduje o jego funkcjonalności, zdolności korygowania wymienionych uchybów oraz wykonywania różnych zabiegów i operacji montażowych bez konieczności przezbrajania.

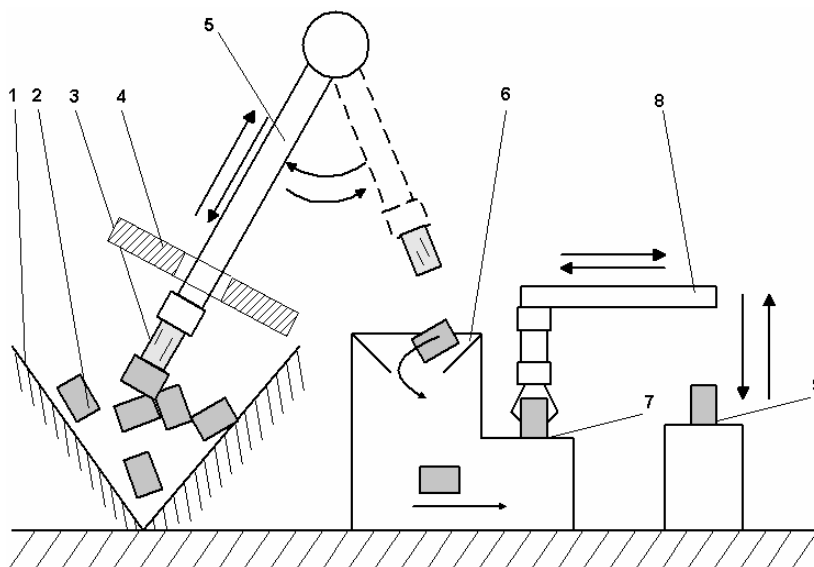
Literatura

- [1] Agrawal V. P., Verma A., Agrawal S., *Compute-aided evaluation and selection of optimum grippers*, Int. J. Prod. Res. 1992, Vol. 30, No. 11, 2713–2732.
- [2] Baartman J.P., *Automation of Assembly Operations on Parts*, Dissertation, TU Delft, ISBN 90-370-0119-X, 1995.
- [3] Barczyk J., Igielski J., Łunarski J., *Układy podawania w systemach automatycznego montażu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
- [4] Barczyk J., *Laboratorium podstaw robotyki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.
- [5] Barczyk J., *Wybrane problemy budowy chwytaków z napędem elektrycznym*, Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, V Krajowa konferencja robotyki, Wrocław 1996.
- [6] Gini G., *A module for automated planning of grasps in robotized assembly operations*, Annals of the CIRP 1993, Vol. 42, No. 1.
- [7] Gorce P., Villard C., Fontaine J.-G., *Computer aided design for grippers*, Laboratoire de Robotique de Paris, Centre Universitaire de Technologie, France 1994.

- [8] *Handbuch Bosch SR 450, 600, 800*, Robert Bosch GmbH.
- [9] Jeoung S., Malstrom E., Even J., *Use of coding and classification systems in the design of universal robotic grippers*, Robotica, Cambridge University Press 1993, Vol. 11, 345–250.
- [10] Katalog firmy Cleveland Guest Automation, *Paramatic grippers. Technical specifications*.
- [11] Katalog firmy Intelligente Peripherien für Roboter, *Fügehilfe ausgleichselemente*.
- [12] Katalog firmy Intelligente Peripherien für Roboter, *Werkzeugwechsler*.
- [13] Katalog firmy PHD, *PHD Grippers*.
- [14] Katalog firmy Schunk, *Greifsysteme*.
- [15] Katalog firmy Schunk, *Gripping Systems*.
- [16] Katalog firmy Sommer Automatic, *Automatisierung aus einer Hand*.
- [17] Kocełuch A., Koch T., *Projektowanie wyposażenia technologicznego robotów montażowych pod kątem dokładności pozycjonowania i orientowania kojarzonych części*, Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej Nr 71, Seria: Konferencje Nr 32, Wrocław 1998.
- [18] Kocełuch A., *Metoda wyznaczania dokładności łańcucha kinematycznego dla operacji montażu automatycznego*, *Technika i technologia montażu maszyn*. III Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna. Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Rzeszów-Jawor, 6–8 października 1997.
- [19] Kocełuch A., *Planowanie wyposażenia technologicznego robotów montażowych pod kątem dokładności pozycjonowania i orientowania kojarzonych części*, Praca doktorska, promotor: Tomasz Koch, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.
- [20] Kuciel A., *Opracowanie metody doboru biernych urządzeń kompensujących błędy pozycjonowania końcówki robota z uwzględnieniem rodzajów operacji montażowej*, Praca dyplomowa, promotor: Tomasz Koch, Politechnika Wroclawska, Wrocław 1997.
- [21] Lunarski J., Szabajkowicz W., *Automatyzacja procesów technologicznych montażu maszyn*, WNT, Warszawa 1993.
- [22] Malicki J., *Metodyka planowania chwytów i modułowych układów chwytnych robotów montażowych*, Praca doktorska, promotor: Tomasz Koch, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [23] Olszewski M., Barczyk J., Falkowski J.L., Kościelny W.J., *Manipulatory i roboty przemysłowe*, WNT, Warszawa 1992.
- [24] Pham D. T., Tacgin E. *DBGRIP: A learning expert system for detailed selection of robot grippers*, Int. J. Prod. Res. 1991, Vol. 29, No. 8, 1549–1563.
- [25] Pham D. T., Yeo S. H., *Strategies for gripper design and selection in robotic assembly*, Int. J. Prod. Res. 1991, Vol. 29, No. 8, 1549–1563.
- [26] Praca zbiorowa pod red. Moreckiego A. i Knapczyka J., *Podstawy robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów*, Część druga, rozdz. 8. WNT, Warszawa 1994.
- [27] Rademacher L., *Präzisionsfügen mit passiven Fügehilfen*, VDI-Verlag, Düsseldorf 1992.
- [28] Schugmann R., *Entwicklung und Auslegung nachgiebiger Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage*, Springer – Verlag, Berlin 1990.
- [29] Verlasco V. B., Newman W. S., *An approach to automated gripper customization using rapid prototyping technology*, Dept. of Electrical Engineering and Applied Physics, Case Western Reserve University, Cleveland USA 1998.
- [30] Warnecke H.-J., *Die Montage im flexiblen Produktionsbetrieb*, Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg 1996.
- [31] Żurek J., Briese W., *Koncepcja opisu połączeń montażowych*, Technologia i Automatykacja Montażu 1998, Nr 1, 8–11.

5. Urządzenia magazynujące, orientujące i dostarczające części na stanowiska montażowe

Jednym z ważniejszych zadań, jakie stoi przed zespołami wdrażającymi współczesne systemy montażowe, jest skrócenie czasu ich projektowania, konstruowania, uruchamiania oraz zapewnienie poprawnej realizacji zaplanowanych dla nich zadań. Dodatkowo brać należy pod uwagę konieczność uelastycznienia systemów montażowych do produkcji wielowariantowej, w krótkich seriach.



Rys. 5.1. Schemat przygotowania pojedynczej części do montażu [1]:

- 1 – magazyn części, 2 – podawane części, 3 – chwytak, 4 – oddzielnik zbędnych części,
 5 – urządzenie przenoszące część (np. ramię manipulatora), 6 – urządzenie orientujące,
 7 – miejsce pobrania, 8 – przenośnik części z miejsca pobrania na pozycję montażową
 (np. urządzenie montażowe), 9 – pozycja montażowa

Wymagania te dotyczą także urządzeń magazynujących, orientujących i dostarczających (MOD) części na stanowiska montażowe, czyli przygotowujących je do montażu. Naturalne jest, że urządzenia te są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania zautomatyzowanych i zrobotyzowanych stanowisk montażowych. Mogą one także pełnić istotną rolę w montażu ręcznym. Analiza kolejności czynności i ich pracochłonności na stanowiskach montażu ręcznego doprowadziła do wniosku, że znaczący udział mają prace, wykonywane przez monterów, związane z pobieraniem części i ich orientowaniem do pozycji gwarantującej poprawny przebieg procesu kojarzenia. Stosowanie urządzeń MOD może w istotny sposób, z jednej strony, skrócić cykl operacji montażowej, a z drugiej, przyczynić się do wyeliminowania błędnych czynności (np. pobrania dwóch zakleszczonych części). Łatwiej jest także przeprojektować stanowisko montażu ręcznego odpowiednio wyposażone w urządzenia MOD na stanowisko montażu automatycznego, gdy zaistnieje taka potrzeba. Ogólny schemat działania urządzeń przygotowujących części do montażu przedstawiono na rysunku 5.1.

W ogólnym przypadku części dostarczane są partiami do magazynów stanowiskowych. Stąd pobierane są pojedynczo lub strumieniem do urządzenia orientującego, a następnie w stanie zorientowanym podawane pojedynczo w miejsce pobrania. Przypadki szczególne mogą bardzo różnić się od siebie, jednak generalnie urządzenia przygotowujące części do montażu zbudowane są z magazynów, urządzeń orientujących, transportujących oraz innych wykonujących zadania szczególne (rozdzielanie, chwytanie, kontrolowanie położenia lub stanu, ustalanie itp.).

Urządzenia magazynujące, orientujące i dostarczające części montażowe są więc ważnymi składnikami nowoczesnych stanowisk montażowych, często jednak niedocenianymi ze względu na brak narzędzi wspomagających ich prawidłowy dobór i wyposażenie. Algorytm postępowania podczas projektowania tych urządzeń można opisać kolejnymi etapami, w których następuje:

- określenie stanu początkowego części,
- określenie stanu końcowego części,
- wyznaczenie stanów pośrednich,
- zapisanie procesu przygotowania części do montażu za pomocą funkcji ciągu orientującego,
- dobór urządzeń realizujących poszczególne funkcje wraz z wyznaczeniem funkcji jednostkowych,
- opracowanie dokumentacji urządzenia przygotowującego części do montażu.

Dalej przedstawiono, w ogólnym zarysie, podstawowe etapy projektowania urządzeń przygotowujących części do montażu.

5.1. Określenie stanu początkowego i końcowego części

W warunkach produkcyjnych części do montażu mogą być dostarczane [1]:

- w pojemnikach transportowych, w stanie nieuporządkowanym,
- w kasetach, w stanie częściowo zorientowanym,
- na paletach, w stanie częściowo lub całkowicie zorientowanym,
- w pojemnikach magazynowych, w stanie zorientowanym.

Określenie stanu początkowego części może polegać na opisaniu stanu istniejącego, w przypadku gdy nie można wpłynąć na stopień uporządkowania części dostarczanych do stanowiska montażowego, lub na wyznaczeniu takiego położenia i orientacji części, które byłoby najdogodniejsze do dalszego procesu dostarczania jej w miejsce kojarzenia. Wydaje się, że najlepszym stanem początkowym części jest taki, w którym część ma już orientację końcową, tzn. obowiązującą w momencie kojarzenia jej w wyrobie, oraz gdy będzie dostarczana do pobrania pojedynczo, tzn. nie trzeba wykonywać już czynności związanych z oddzielaniem jej od całej partii. Taki stan jest w przypadku zastosowania pojemników magazynowych z polami odkładczymi, umożliwiającymi zachowanie odpowiedniej orientacji części w trakcie transportu. Niestety jest to sytuacja występująca bardzo rzadko, przede wszystkim ze względu na wysokie koszty magazynowania i transportowania tak uporządkowanych części. Coraz częściej jednak, szczególnie w produkcji realizowanej według zasady *just in time*, wytwarzane części i podzespoły trafiają bezpośrednio do montażu bez ich magazynowania. W takim przypadku, po obróbce, powinna zostać zachowana orientacja części lub podzespołu i w tym stanie powinny być one dostarczane do stanowiska montażowego.

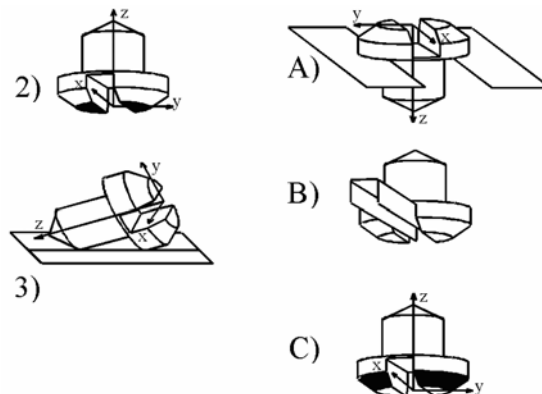
W każdym przypadku, abstrahując od tego czy część dostarczana jest w stanie nieuporządkowanym, częściowo zorientowanym lub zorientowanym, należy wybrać i opisać jeden lub kilka jej stanów początkowych, od których rozpocznie się proces orientowania części, do stanu końcowego – gdy część zostanie pobrana przez montera lub jednostkę montażową. Opis ten powinien jednoznacznie definiować położenie i orientację części w przestrzeni.

Ogromna różnorodność kształtów orientowanych przedmiotów powoduje, że konieczne jest podzielenie ich na grupy o określonych cechach, w ramach których przede wszystkim opisane zostaną możliwe do uzyskania przez nie stany stabilne, naturalne i wymuszone. Liczba tych grup (klasy geometryczne) nie jest ściśle określona. W zależności od asortymentu orientowanych części każde przedsiębiorstwo może stworzyć własną klasę kształtu. Klasą kształtu może być na przykład: stożek, walek, część płaska, prostopadłościan, pierścień, części w kształcie grzybka, tuleje itp. Szczegółowe zasady wyodrębniania i definiowania oddzielnych klas oraz wytyczne obowiązujące przy zaliczaniu przedmiotu do konkretnej kategorii – szczególnie

przedmiotów o geometrii zmodyfikowanej w stosunku do standardowych geometrii swoich klas – wymagają dokładnej analizy i opracowania [1, 2, 4].

Każdej z klas geometrycznych powinny zostać przyporządkowane jej standardowe stany stabilne wraz z ich oznaczeniami. Numer lub symbol stanu stabilnego dla danej klasy powinien określać go jednoznacznie w kartezjańskiej przestrzeni. Przykładowo naturalne stany stabilne części lub podzespołów można oznaczyć cyframi, natomiast stany stabilne wymuszone (przez odpowiednie ukształtowanie podpór) – literami. Części danej klasy powinny mieć jednoznacznie zdefiniowaną zasadę sytuowania kartezjańskiego układu współrzędnych.

Na rysunku 5.2 pokazano przykład powiązania kartezjańskiego układu współrzędnych z przedmiotem typu „grzybek” (o zmodyfikowanym wobec standardowego kształcie – stożkowe zakończenie wałka i rowek) oraz oznaczenia stanów stabilnych wraz ze sposobem graficznej ilustracji położenia podpór.



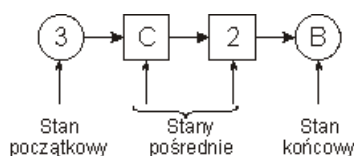
Rys. 5.2. Powiązanie przedmiotów o kształcie „grzybka” z układem współrzędnych oraz stany stabilne występujące dla danego przedmiotu z zaznaczonymi podporami [2]

Analogicznego opisu wymaga położenie końcowe części w procesie przygotowania jej na stanowisku montażowym. Położenie końcowe nie musi być położeniem o ostatecznej orientacji w wyrobie. Powinno jednak zapewniać pewny chwyt części oraz szybki i niezawodny jej montaż.

5.2. Wyznaczenie stanów pośrednich

W pierwszej fazie projektowania urządzeń MOD należy zastanowić się, czy nie będzie wymagane utrzymywanie lub uzyskiwanie stanów stabilnych pośrednich. Przykładem takim może być konieczność transportowania części w stanie stabilnym pośrednim z magazynu stanowiskowego do urządzenia nadającego jej stan końcowy w miejscu po-

brania ze względu na bezpieczeństwo lub niezawodność samej czynności transportowania. Innym przykładem może być narzucenie odpowiedniego ciągu przeorientowania części ze stanu początkowego do końcowego przez wiele, z góry zadanych, stanów pośrednich ze względu na wydajność procesu orientowania, niezawodność tego procesu lub niebezpieczeństwo uszkodzenia części lub wykonujących te czynności urządzeń. W takim przypadku należy zaproponować ścieżkę przejścia jednoznacznie opisującą wszystkie kolejne stany stabilne części. Dla opisanej wcześniej części mógłby to być ciąg stanów przedstawiony na rysunku 5.3.



Rys. 5.3. Ciąg stanów stabilnych dla części typu „grzybek”

5.3. Funkcje ciągu orientującego

Podstawową funkcją realizowaną przez urządzenia MOD jest pobieranie części z magazynu oraz orientowanie ich do żądanego stanu, w trakcie dostarczania do miejsca montażu. Ze względu na najważniejszy jej składnik, nazwano ją funkcją ciągu orientującego. Wzorując się na niemieckich zaleceniach [5], funkcja ta jest opisywana łańcuchem symboli, którym przyporządkowane są charakterystyczne dane.

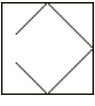
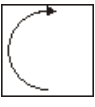
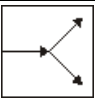

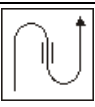
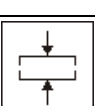
Tworzenie łańcucha symboli, określających funkcje ciągu orientującego, dokonuje się na podstawie:

- wyznaczonego uprzednio ciągu stanów części od początkowego do końcowego,
- rysunków wykonawczych i złożeniowych wyrobu,
- technologii montażu danego wyrobu,
- sposobu dostarczania części do montażu,
- dostępnych w zakładzie lub na rynku urządzeń itp.

Funkcję ciągu orientującego można opisać za pomocą sześciu symboli wraz z przypisanymi im parametrami (tab. 5.1).

Ciąg taki rozpoczyna się zwykle urządzeniem magazynującym, a następnie część jest orientowana za pomocą jednego lub kilku urządzeń orientujących. Jeśli istnieje potrzeba transportowania, to powinno ono następować już po całkowitym zorientowaniu części. Wyjątek stanowi sytuacja, gdy transport części w stanie stabilnym, końcowym, jest utrudniony i nadanie jej ostatecznej orientacji następuje tuż przed pozycją odbioru przez urządzenie montażowe [2]. Rozdzielanie strumienia części na partie o określonej liczności może następować bądź przed transportem, bądź tuż przed samym miejscem pobrania na stanowisku montażowym. Ostatnią funkcją, jaka może wystąpić w ciągu, jest blokowanie części na pozycji odbioru przez urządzenie montażowe.

Tabela 5.1. Symbole opisu ciągu orientującego [5]

Symbol	Opis
 m, a, b, c	magazynowanie części w stanie stabilnym m ; m – numer standardowego stanu stabilnego dla danej kategorii geometrycznej; a, b, c – osie układu współrzędnych przedmiotu, wobec których orientacja przedmiotu jest określona; a – odpowiada obrotowi wokół osi x , b – osi y , c – osi z
 m, a, b, c	orientowanie części do stanu stabilnego m ; a, b, c – osie układu współrzędnych przedmiotu, wobec których powinien on zostać zorientowany
 $m, n, m_1...m_n, g_1...g_n$	podział strumienia części ze zmianą orientacji; strumień części w stanie stabilnym m jest rozdzielany na n strumieni części w stanach stabilnych m_1, \dots, m_n ; części są również dzielone na wiązki o liczności g_1, \dots, g_n
 g, m, a, b, c	rozdzielanie strumienia części na wiązki o g elementach z zachowaniem stanu stabilnego m ; należy zachować orientację wobec osi a, b, c
 m, a, b, c, x, y, z, A	transport z zachowaniem stanu stabilnego m ; a, b, c – osie układu współrzędnych części, wobec których orientacja jest określona; x, y, z – osie układu współrzędnych, wzdłuż których przedmiot nie może się poruszać (np. musi być transportowany taśmociągami z gniazdami); A – przewidywana długość trasy transportu
 m, a, b, c, x, y, z	pozycjonowanie i blokowanie części na stanowisku montażowym w stanie stabilnym m ; orientacja części jest określona względem osi a, b, c , natomiast jej pozycja jest określona względem osi x, y, z

Taki układ czynności ułatwia formułowanie zadań dla ciągu orientującego. Najczęściej nie ma powodu, aby pomiędzy urządzeniami orientującymi umieszczać np. urządzenia transportujące. Należy zaznaczyć, że funkcja „transport” w ciągu symboli powinna występować jedynie w razie konieczności odsunięcia urządzeń orientujących od gniazda montażowego. Przyczyną tego może być np. brak miejsca w bezpośredniej bliskości stanowiska montażowego. W przypadku braku tego rodzaju ograniczeń funkcje transportowe powinny być w miarę możliwości realizowane przez urządzenia orientujące, których działanie jest zwykle oparte na przemieszczaniu części orientowanej. Dobór urządzeń powinien w miarę możliwości prowadzić do eliminowania wydzielonych urządzeń transportowych, nawet jeśli ciąg symboli przewiduje ich obecność. Może się tak stać, w przypadku gdy ostatnie w ciągu urządzenie orientujące może pełnić zadanie transportu na żadaną odległość. Wynika stąd konieczność określenia w opisie urządzeń orientujących również ich możliwości transportowych.

5.4. Dobór urządzeń realizujących funkcje ciągu orientującego

Dobór urządzeń MOD wymaga określenia parametrów geometrycznych, materiałowych i opisujących stan powierzchni orientowanych części, parametrów procesu montażowego oraz skorzystania z bazy danych urządzeń MOD. Na podstawie tych danych można zaprojektować urządzenie przygotowujące części do montażu, które nie tylko ustala odpowiednią orientację i pozycję części na miejscu pobrania, ale pracuje z odpowiednią wydajnością i jest bezpieczne dla manipulowanych części, czyli nie powoduje ich uszkodzeń mechanicznych. W dalszej części tego podrozdziału przedstawiono pokrótce najważniejsze parametry opisujące zarówno części, jak i urządzenia do ich magazynowania, orientowania i transportowania.

Parametry geometryczne orientowanej części

Do podstawowych wielkości opisujących geometrię części należy zaliczyć [2]:

- kategorię geometryczną, do której część się zalicza (wałek / grzybek / pierścień / ...),
- symbole występujących dla danej części stanów stabilnych i procentowy ich udział w przypadku dostarczania części w stanie nieuporządkowanym,
- symetrię względem osi X , Y i Z (najmniejszy kąt, o jaki należy obrócić przedmiot wokół danej osi, aby otrzymać tę samą orientację części, np. 120°),
- współrzędne środka ciężkości,
- wymiary, [mm],
- masę, [kg],
- objętość (np. w celu ustalenia koniecznej przestrzeni magazynowej urządzenia magazynującego, przy założonej wydajności orientowania, częstotliwości dostaw oraz przy zastosowaniu wyznaczonego empirycznie średniego współczynnika, wypełnienie przestrzeni przez elementy danej klasy geometrycznej).

Parametry materiałowe i parametry powierzchni

Możliwość zastosowania poszczególnych urządzeń do manipulowania daną częścią może być uwarunkowana również pewnymi jej cechami związanymi z materiałem i powierzchnią.

Do opisu części umożliwiającego ocenę przydatności urządzenia do manipulowania nią, ze względu na stan jej powierzchni i materiał, konieczne jest określenie następujących cech [2]:

- materiał – np. gatunek stali, brązu, tworzywa sztucznego itp.,
- właściwości magnetyczne (przenikalność magnetyczna) – należy określić czy część zbudowana jest z materiału ferro-, dia-, czy paramagnetycznego,
- właściwości elektryczne (przewodność elektryczna) – czy część jest przewodnikiem, czy dielektrykiem (określenie właściwości magnetycznych i elektrycznych

pozwała na określenie możliwości zastosowania pól: magnetycznego, elektrycznego i elektromagnetycznego do orientowania, transportowania i mocowania części),

- właściwości optyczne – zakres długości fal promieniowania elektromagnetycznego dobrze odbijanych przez powierzchnię części (informacja ważna w przypadku zastosowania czujników optycznych),

- elastyczność – czy część jest na tyle elastyczna, że może to powodować trudności przy orientowaniu, transporcie itp. (TAK / NIE),

- kruchość – czy uderzenia, np. przy zetknięciu z innymi przedmiotami lub ściankami przewodnic mogą doprowadzić do zniszczenia części przez jej popękanie (TAK / NIE),

- odporność na wibracje – należy określić czy wibracje mogą uszkodzić część (jest to ważne na przykład w przypadku tworzyw sztucznych) (TAK / NIE),

- odporność na uderzenia i duże naciski – czy uderzenia i duże naciski mogą prowadzić do uszkodzenia części (wgniecenia powierzchni lub zmiana kształtu części) (TAK / NIE),

- stan powierzchni – czy oddziaływanie na część urządzenia, np. poprzez tarcie, jest w stanie niekorzystnie wpłynąć na jakość powierzchni (np.: w przypadku małej chropowatości, powłoki lakierniczej lub galwanicznej) (TAK / NIE),

- współczynnik tarcia pomiędzy orientowanym przedmiotem a przewodnicą (μ) – należy określić współczynnik tarcia materiału części z materiałem elementów urządzenia, które z nią współpracują.

Parametry procesu

Do grupy parametrów procesu można zaliczyć wszystkie dane dotyczące współpracy urządzeń ciągu orientującego z linią bądź gniazdem montażowym, takie jak [2]:

- wymagana wydajność procesu orientowania (wymagana liczba sztuk orientowanych elementów na godzinę),

- wymagana elastyczność (łatwość dostosowania ciągu orientującego do orientowania różnych części) (duża / średnia / mała),

- przewidywana odległość urządzeń ciągu orientującego od stanowiska montażowego (odległość ostatniego w ciągu urządzenia od pozycji odbioru części przez urządzenie montażowe lub montera).

Opis urządzeń MOD






Wybór urządzeń z bazy danych odbywa się przez porównywanie funkcji ciągu orientującego z możliwościami konkretnego urządzenia. Porównanie to dotyczy również wszystkich ważnych cech orientowanych części. Istotną sprawą jest zatem opracowanie odpowiedniego sposobu opisu możliwości i właściwości urządzeń. Niektóre właściwości powinny być określone również za pomocą punktacji, co może być pomocne w jakościowej ocenie przydatności urządzenia.

Oprócz ogólnych parametrów opisujących urządzenie, niezbędny jest też opis realizowanych funkcji na częściach należących do poszczególnych klas geometrycznych.

Podstawowe dane opisujące urządzenia to [2]:

- opis globalnych funkcji urządzenia za pomocą symboli graficznych używanych do opisu ciągu orientującego, lecz z pominięciem wykorzystywanych tam parametrów,
- opis szczegółowy funkcji urządzenia np. za pomocą symboli zawartych w zaleceniach VDI 2860 [5] (tab. 5.2) oraz szkice poglądowe wyjaśniające istotę funkcjonowania urządzenia,

Tabela 5.2. Przykładowe funkcje cząstkowe opisujące proces magazynowania, orientowania i podawania części wg zaleceń VDI 2860 [5]

Symbol	Opis
	rozdzielanie strumienia części na mniejsze strumienie;
	łączenie strumieni części;
	sortowanie części;
	orientowanie – część przechodzi ze stanu, w którym jej orientacja nie jest określona do określonej orientacji, przy czym nie jest brana pod uwagę jej pozycja;
	porządkowanie – jest to ruch części z nieokreślonej pozycji i orientacji w określoną pozycję i orientację;

- typy oddziaływań pochodzących od sąsiednich urządzeń, które mogą mieć niekorzystny wpływ na funkcjonowanie urządzenia, np.: drgania, pole elektromagnetyczne itp.,
- oddziaływania pochodzące od danego urządzenia, mogące mieć niekorzystny wpływ na funkcjonowanie współpracujących z nim urządzeń (np. wibracje),
- zasada działania (mechaniczna, pneumatyczna, elektryczna, magnetyczna, elektromagnetyczna, optyczna itp.),
- opis trudności w funkcjonowaniu urządzenia, jeśli część orientowana jest elastyczna,
 - możliwość uszkodzenia orientowanych części, jeśli nie są one odporne na uderzenia,
 - możliwość uszkodzenia orientowanych części, jeśli nie są one odporne na wibracje,
 - możliwość uszkodzenia powierzchni orientowanych części przez wgniecenia (np. duże naciski),
 - możliwość uszkodzenia powierzchni orientowanych części przez tarcie,

- zakres wielkości współczynnika tarcia o stal orientowanych części, konieczny do prawidłowego funkcjonowania urządzenia,
- zakres wydajności urządzenia; aby wyznaczyć rzeczywistą wydajność urządzenia, dla konkretnej części i stanu stabilnego, trzeba uwzględnić prędkość podawania pomnożoną przez procent występowania pożądanego stanu stabilnego,
- opis elastyczności urządzenia, charakteryzowany ilością wykonywanych przez nie operacji na częściach należących do różnych kategorii geometrycznych,
- długość drogi lub zakres długości drogi transportu: ($A = \dots [m]$),
- objętość przestrzeni magazynowej w przypadku urządzenia magazynującego,
- inne parametry charakteryzujące dany rodzaj urządzeń, takie jak: długość skoku siłownika, siła docisku siłownika itp.

Dla każdej funkcji urządzenia powinna być sporządzona tabela, obejmująca wszystkie dopuszczalne kategorie geometryczne części i wszystkie ich stany stabilne (w przypadku urządzeń orientujących – przejścia pomiędzy wszystkimi stanami stabilnymi). Tabela powinna zawierać schematyczne rysunki modyfikacji urządzenia, umożliwiające wykonanie założonych czynności.

Oprócz danych koniecznych ze względu na algorytm doboru, baza danych urządzeń powinna zawierać dane identyfikacyjne urządzenia oraz informacje na temat jego eksploatacji, a także jego parametry techniczne, których znajomość jest pomocna przy kompletowaniu ciągów orientujących, planowaniu przestrzennym linii montażowych, doborze wyposażenia pomocniczego itd. Należą do nich [2]:

- nazwa urządzenia,
- symbol urządzenia,
- odmiana lub wielkość,
- producent,
- gabaryty urządzenia,
- zasilanie elektryczne (liczba faz, napięcie zasilania, pobór mocy, itp.),
- zasilanie z sieci sprężonego powietrza (ciśnienie, wydajność),
- inne parametry techniczne,
- data zakupu,
- cena zakupu,
- informacje o przeprowadzonych remontach,
- liczba przepracowanych godzin,
- godzinowy koszt eksploatacji,
- czy dane urządzenie jest dostępne.

Dobór urządzeń

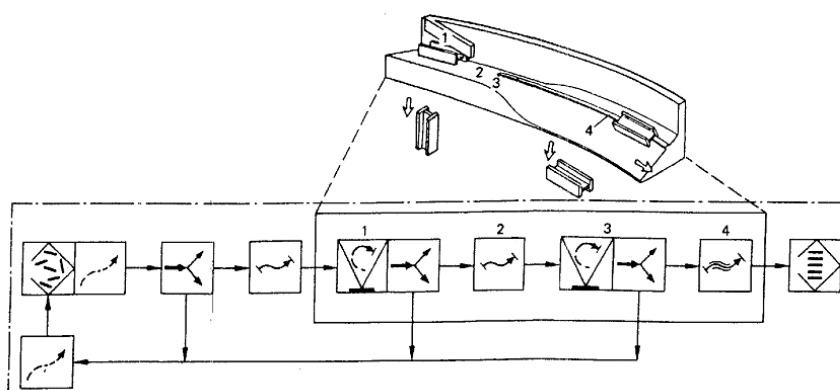
Dobór urządzeń MOD powinien rozpocząć się od uszczegółowienia najkorzystniejszej ścieżki przejścia orientowanej części ze stanu początkowego do wynikowego. Następnie należy przeprowadzić dobór urządzeń i ich wyposażenia poprzez sprawdzenie ich [2]:

- funkcji globalnych i szczegółowych,
- parametrów związanych z klasą geometryczną części, która ma być orientowana,
- zgodności pozostałych parametrów.

W wyniku przeprowadzonej analizy różnych wariantów należy wybrać rozwiązanie, które jest optymalne ze względu na przyjęte kryteria oceny. Kryteriami tymi może być: maksymalna niezawodność, niska cena, maksymalne wykorzystanie posiadanych już urządzeń czy też krótki czas realizacji.

5.5. Dokumentacja urządzenia przygotowującego części do montażu

Dokumentacja urządzenia, czyli standardowe dokumenty konstrukcyjne i technologiczne (np. wykonania oprzyrządowania poszczególnych urządzeń handlowych dostosowujących je do wymagań konkretnej instalacji) powinna powstać na podstawie wszystkich danych o orientowanych częściach oraz szczegółowego opisu procesu przygotowania części do montażu, a powstałego jako wynik wcześniej opisanych działań. Przykład graficznej części takiego opisu pokazano na rys. 5.4, na którym zobrazowano szczegółowy zapis orientowania i transportowania części za pomocą podajnika wibracyjnego. Dla lepszego zrozumienia fragment szczegółowej funkcji orientującej został zobrazowany rzeczywistym wycinkiem bieżni podajnika wibracyjnego, na której następuje oddzielenie części o prawidłowej orientacji końcowej od pozostałych. Opis taki może być uzupełniony opisem tekstowym, zawierającym dodatkowe informacje dla konstruktora i technologa.



Rys. 5.4. Przykład szczegółowej funkcji orientującej opisującej magazynowanie i orientowanie części montażowych za pomocą podajnika wibracyjnego [3]

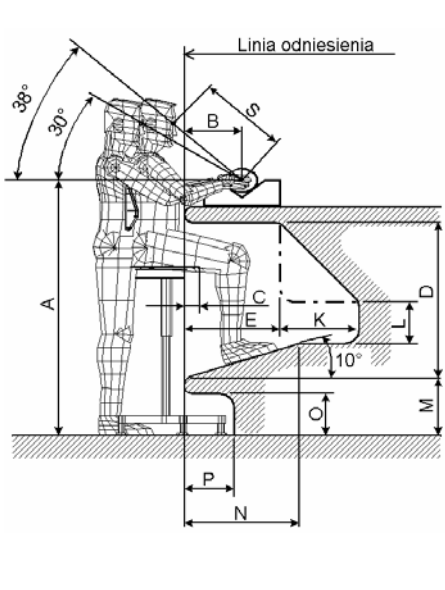
Literatura

- [1] Barczyk J., Igielski J., Łunarski J., *Układy podawania w systemach automatycznego montażu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
- [2] Chrapek K., Bielski S., Kocełuch A., Koch T., Kozera M., Kuciel A., Malicki J., Mydlikowski S., Smalec Z., Żaba K., *Opracowanie podstaw budowy elastycznych systemów montażowych*, wyd. ser. niepublik.: Raporty Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Ser. SPR Nr 19, 1997.
- [3] Lotter B., *Wirtschaftliche Montage. Ein Handbuch für Elektrogerätebau und Feinwerktechnik*, VDI Verlag, Düsseldorf 1992.
- [4] Łunarski J., Szabajkiewicz W., Szenajch W., *Automatyczne orientowanie w procesach montażu*, Wydawnictwa Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1994.
- [5] Verein Deutscher Ingenieure, VDI 2860; *Montage- und Handhabungstechnik, Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen: Begriffe, Definitionen, Symbole*.

6. Stanowisko montażu ręcznego

6.1. Projektowanie stanowiska montażu ręcznego

Systemy montażowe wymagają często integracji zarówno montażu zautomatyzowanego (w tym zrobotyzowanego), jak i montażu ręcznego. Synchronizacji wymaga zwłaszcza przepływ materiałów, a także czas cyklu/taktu obu rodzajów stanowisk. Niezbędna jest w tych sytuacjach znajomość podstaw projektowania stanowisk montażu ręcznego, a także całych linii i gniazd. Zagadnienia te opisano w kolejnych dwóch podrozdziałach.

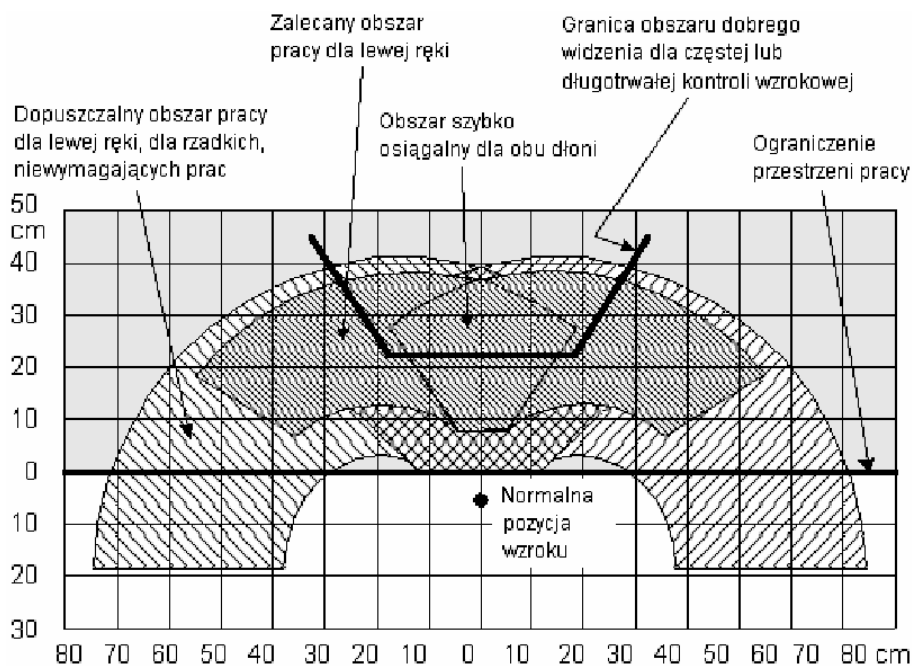
	Opis	Wymiary [mm]
Wysokość miejsca pracy: – praca precyzyjna, – praca zmechanizowana, – praca ręczna	A (wartość zalecana) 1275 1100÷1200 1000	
Położenie przedmiotu pracy: – praca precyzyjna, – praca zmechanizowana, – praca ręczna	B (wartość zalecana) 200 300 maks. 325	
Głębokość wsunięcia siedziska	C min. 50	
Przestrzeń na nogi	D min. 700 E min. 400	
Przestrzeń przed nogami	K min. 350 L min. 300	
Podnózek	M 280÷380 nastawialny N min. 400	
Przestrzeń na stopy	O min. 200 P min. 200	
Odległość patrzenia: – praca precyzyjna, – praca zmechanizowana, – praca ręczna	S (wartość zalecana) 280 270 450	

Rys. 6.1. Standardowe wymiary stanowiska pracy ręcznej dla pozycji stojącej i siedzącej opracowane w firmie BOSCH [2, 3]

W projektowaniu stanowisk pracy ręcznej należy kierować się przede wszystkim względami ergonomicznymi i technologicznymi. Konstrukcja i wyposażenie ręcznego stanowiska montażowego powinny gwarantować poprawny i ekonomiczny przebieg procesu montażu, z zachowaniem zasad ergonomii oraz zapewnieniem odpowiednich warunków pracy, minimalizujących zmęczenie fizyczne i psychiczne pracowników.

Bardzo ważne i często niedoceniane jest odpowiednie wymiarowanie stanowisk montażowych. Zapewnia ono poprawną pozycję ciała podczas pracy oraz minimalizuje liczbę ruchów podczas wykonywania czynności montażowych. Istotne jest także umożliwienie pracownikowi (w miarę możliwości) indywidualnego wyboru pozycji siedzącej lub stojącej podczas pracy oraz dowolnie częste ich zmiany. Na rysunku 6.1 pokazano standardowe wymiary stanowiska pracy ręcznej dla pozycji stojącej i siedzącej, opracowane przez firmę BOSCH.

Sposoby i miejsce wykonywania czynności montażowych oraz przygotowania kolejnych części montażowych powinny zostać dostosowane do przestrzeni pracy i pola dobrego widzenia uwarunkowanych wymiarami i ukształtowaniem ludzkiego ciała. Na rysunku 6.2 przedstawiono rzut pionowy na przestrzeń pracy, wskazujący na położenie obszarów poprawnego sięgania i dobrego widzenia dla przeciętnej osoby.

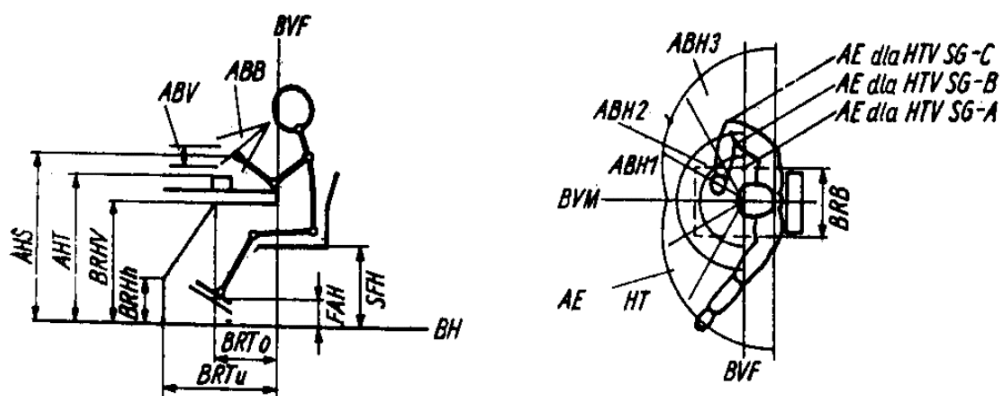


Rys. 6.2. Położenie obszarów poprawnego sięgania i dobrego widzenia na płaszczyźnie roboczej stanowiska (zalecenia VDI – Verein Deutscher Ingenieure) [2, 3]

Istotne jest także, oprócz ergonomicznych wymiarów, aby stanowisko było wyposażone w odpowiednie magazyny części, narzędzia, oświetlenie, tablice informacyjne, a także inne urządzenia pomocnicze oraz dodatkowe wyposażenie (np. szafki, szuflady, uchwyty na napoje, ręczniki itp.). Także warunki pracy (hałas, zanieczyszczenie powietrza) mają istotny wpływ na proces zmęczenia pracownika, co ma swój bezpośredni wyraz w jakości wykonywanej pracy i jej wydajności.

Wymiary stanowiska montażu ręcznego

Przez wymiary stanowiska montażu ręcznego rozumie się te wszystkie wymiary, które określają odległości pomiędzy innymi stanowiskami lub miejscami pobierania informacji (np. wzrokowej) oraz te, które wpływają na położenie lub ruchy ciała na stanowisku roboczym [4].



Rys. 6.3. Najważniejsze wymiary stanowiska montażu ręcznego [4]:

AB – zakres pracy oznaczający możliwe odchylenia miejsca poboru informacji od prawidłowego położenia; odchylenie może być: ABV – pionowo od wysokości roboczej, ABH – pionowo do BVM i BVF, ABB – do średniej kierunku spojrzenia w płaszczyźnie BVM; AE – pozioma powierzchnia pracy obejmująca miejsca pobierania potrzebnych informacji; AH – wysokość robocza będąca prostopadłym odstępem pomiędzy poziomą płaszczyzną odniesienia (BH) i miejscem pobierania informacji; AHT – rzeczywista wysokość pracy mierzona na stanowisku pracy; AHS – nominalna wysokość pracy odczytana z tablic; BH – pozioma płaszczyzna odniesienia, do której odnoszone są wszystkie pionowe wymiary na stanowiskach pracy; BRB – szerokość przestrzeni na nogi; BRHh – wysokość na nogi z tyłu; BRHV – wysokość na nogi z przodu; BRT0 – głębokość miejsca przeznaczonego na nogi u góry; BRTu – głębokość miejsca przeznaczonego na nogi na dole; BVM – pionowa płaszczyzna odniesienia pośrodku; BVF – wyobrażalna płaszczyzna frontalna przebiegająca przez środki oczu operatora znajdującego się w położeniu roboczym; FAH – wysokość oparcia stopy; HT – rodzaj czynności roboczej, gdzie pobór informacji odbywa się ręcznie lub łącznie z jednorazowym poborem informacji wizualnej; HTV – klasa czynności roboczej, gdzie pobór informacji odbywa się łącznie wizualnie i ręcznie; HV – klasa czynności roboczej, gdzie pobór informacji odbywa się tylko wizualnie; SFH – wysokość siedzenia ponad poziomą płaszczyzną odniesienia; SG – grupa odległości patrzenia ($SG-A \leq 25$ cm, 25 cm \leq $SG-B \leq 35$ cm, 35 cm \leq $SG-C$)

Wymiary stanowiska pracy dzieli się na wewnętrzne oraz zewnętrzne. Wymiary wewnętrzne dotyczą pobytu i miejsca pracy pracownika, i są określone za pomocą płaszczyzn (rys. 6.3): BVF (pionowej płaszczyzny z przodu), BVM (pionowej płaszczyzny po środku) oraz płaszczyzny BH (pozioma płaszczyzna odniesienia). Wymiary zewnętrzne (odstęp), które są liczone pomiędzy miejscami pracy, odnoszą się do wyposażenia oraz linii ograniczających stanowisko pracy, a więc stołów, szafek, regałów, ścian, dróg transportowych [4].

Najważniejsze wymiary stanowiska pracy, odniesione do jednego stanowiska montażu ręcznego, pokazano na rys. 6.3.

Czynniki wpływające na wymiary stanowiska montażu ręcznego

Czynniki antropologiczne

Do najważniejszych czynników antropologicznych zalicza się:

- Pozycję ciała

Czynności montażowe, wykonywane przez pracownika na stanowiskach montażu ręcznego odbywać się mogą w pozycji stojącej (stanowisko pracy stojące), siedzącej (stanowisko pracy siedzące) lub dowolnie przez niego wybranej (stanowisko pracy stojąco-siedzące). Przy wykonywaniu zabiegów wymagających dużej precyzji pozycja siedząca jest przy tym najbardziej korzystna, gdyż zapewnia większy spokój rąk, mniejsze obciążenie nóg i stóp oraz lepszy komfort pracy w porównaniu z innymi pozycjami. Aby można było wygodnie siedzieć, muszą zostać spełnione odpowiednie wymagania stawiane miejscu pracy. Niespełnienie tych wymagań lub spełnienie tylko częściowo powoduje, że utrzymanie ciała w pozycji siedzącej będzie połączone z mniejszym lub większym zmęczeniem.

Tabela 6.1. Warunki wyboru stanowisk pracy siedzącej, stojącej lub stojąco-siedzącej [4]

Pozycja ciała	Warunki
Stanowisko pracy siedzącej	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pracownik nie zmienia lub zmienia rzadko montażowe stanowisko pracy 2. Początkowe i końcowe punkty ruchów leżą w płaszczyźnie roboczej lub w zakresie obszaru roboczego 3. Kierunki wywieranych sił są korzystne przy pracy siedzącej 4. Informacje wzrokowe mogą być podejmowane w pozycji siedzącej 5. Miejsce dla nóg pracownika jest wystarczające 6. Nie ma ograniczeń co do pozycji ciała
Stanowiska pracy stojącej	Jeden lub więcej warunków spośród sześciu jest trudny do spełnienia
Stanowiska pracy stojąco-siedzącej	<ol style="list-style-type: none"> 1. Warunki 1–6 potrzebne dla stanowiska siedzącego są możliwe do spełnienia 2. Można zastosować dodatkowe wyposażenie i zwiększone zapotrzebowanie powierzchni użytkowej

W tabeli 6.1 zestawiono najważniejsze czynniki, które należy rozpatrzyć przy opracowywaniu odpowiedzi na pytanie: „siedzieć czy stać?”. Szczególnego znaczenia nabiera tutaj stanowisko „stojąco-siedzące”, albowiem pracownik z własnej woli wybiera pozycję (stojącą lub siedzącą) i pozycję tę może zmienić.

- Wymiary i proporcje ludzkiego ciała

Aby właściwie dostosować stanowisko pracy do sylwetki człowieka, wymaga się znajomości najczęściej występujących wymiarów i proporcji ciała ludzkiego. Dlatego stanowiska montażu ręcznego buduje się przeważnie dla pracowników o wzroście 147–185 cm, gdyż w granicach tych mieści się około 95% wszystkich pracowników [4].

- Odległość patrzenia

W zależności od wielkości i złożoności obserwowanej części lub obserwowanego przedmiotu montażowego dobiera się odpowiednią odległość patrzenia (np. zegarmistrz stara się przedmiot obserwacji trzymać bardzo blisko oka, aby rozpoznać wszystkie jego szczegóły). Płaszczyzna robocza zatem, a w tym i stół, powinny znajdować się na takiej wysokości, aby przy prawidłowej postawie ciała przedmiot obserwacji był dobrze oglądalny. Dlatego w pracach, przy których wymaga się dużych dokładności wykonania, odległość oka od obserwowanego przedmiotu nie powinna być większa niż 25 cm. W przypadku natomiast prac, przy których od oka jest wymagana sprawność taka sama jak przy czytaniu lub pisaniu, odległość ta powinna wynosić 25–35 cm. Należy przy tym zwrócić uwagę, że w miarę zmniejszania się odległości patrzenia zwiększa się obciążenie oczu, co powoduje szybsze ich zmęczenie oraz późniejsze dotkliwe bóle.

- Kąt odchylenia wzroku

Przez kąt odchylenia wzroku rozumie się kąt, który zawarty jest pomiędzy kierunkiem patrzenia a linią poziomą wykreśloną, gdy oko jest zwrócone na przedmiot pracy. Najczęściej kąt odchylenia dla pracy siedzącej wynosi 38° , a dla pracy stojącej 30° [4]. W wyniku wadliwej konstrukcji stanowiska pracy lub niewłaściwego rozmieszczenia środków produkcji i przedmiotu montażowego podane kąty nie mogą być jednak zapewnione. Na prawidłowe ustalenie kąta odchylenia należy zwrócić szczególną uwagę, gdy wzrok pracownika skierowany jest stale na określony punkt. Jest to zwłaszcza częste, gdy praca odbywa się przy małych odległościach patrzenia. Przy pracach, gdzie przedmiot obserwacji znajduje się w znaczącej odległości, występuje najczęściej wiele punktów, które powinny być wizualnie kontrolowane. Wymagania wizualne są wówczas mniejsze, gdyż chodzi najczęściej o krótki czas obserwacji określonych punktów (tzw. „rzut oka”), dlatego dobór prawidłowego kąta odchylenia wzroku ma tutaj mniejsze znaczenie.

- Położenie ramion

Fizjologicznie najkorzystniejsze położenie ramion występuje wtedy, gdy górne części opadają prostopadle w dół, a przedramiona są wyciągnięte nieznacznie do przodu i opadają lekko ku dołowi. W tym położeniu, gdy kąt zawarty pomiędzy

ramieniem i przedramieniem wynosi 100° , pracownik może w kierunku działania siły głównej wywierać największy nacisk [4]. Jeśli przy takiej pozycji ciała jest wykonywana praca, dla której potrzebna jest mniejsza odległość widzenia, konieczne jest wówczas stałe zbliżanie oczu do przedmiotu montowanego, co prowadzi do niekorzystnego położenia ciała. Należy w tych przypadkach szukać wyjścia pośredniego i przy małych odległościach patrzenia podnosić ręce. Zarówno odległość patrzenia, jak i położenie ramion, powinny zostać uwzględnione przy wymiarowaniu montażowego stanowiska pracy. Przyjmuje się zatem zasadę, że jeżeli odległość patrzenia ma większe znaczenie, należy ramiona podnieść, jeżeli natomiast odległość patrzenia ma znaczenie podrzędne, to wysokość powinna być, zgodnie z wygodą ramion, do niej dopasowana [4].

Czynniki techniczno-organizacyjne

Równie duży wpływ na wymiary montażowego stanowiska pracy mają czynniki techniczno-organizacyjne. Do czynników tych zaliczyć należy [4]:

- Czynności związane z pracą

Czynności związane z pracą obejmują wszystkie działania, które są konieczne dla jej przebiegu. Czynności te dzieli się na klasy, w zależności od tego, czy pobór informacji odbywa się wzrokowo (klasa HV), ręcznie (klasa HT) lub też ręcznie i wzrokowo (klasa HTV).

- Technicznie możliwe sytuacje

Wyróżnia się cztery technicznie możliwe sytuacje, które wpływają na wymiary montażowych stanowisk pracy:

Sytuacja 1: Wysokość miejsca pracy może być dostosowywana do wysokości ciała każdego pracownika. Sytuacja taka występuje jednak rzadko.

Sytuacja 2: Nominalna wysokość miejsca pracy AHS (rys. 6.3) jest z góry ustalona, np. przez taśmę lub maszynę. Wysokość miejsca pracy jest dostosowana do największego wzrostu grupy ludzi. Ludzie mniejszego wzrostu pracować mogą w tak samo korzystnych warunkach przez zastosowanie podestów lub siedzeń.

Sytuacja 3: Rzeczywista wysokość miejsca pracy AHT jest z góry ustalona, lecz odbiega od nominalnej wysokości AHS podanej w sytuacji 2. Montażowe stanowiska pracy dostosowuje się indywidualnie do poszczególnych pracowników przez uwzględnienie różnicy AHS–AHT, dodając podnóżki i podesty odpowiednio do wysokości pracownika. Sytuacja taka występuje w przypadku adaptowania starych montażowych stanowisk pracy do nowej linii montażowej.

Sytuacja 4: W sytuacjach 1 i 3 dążono do zapewnienia wygody i wymagań każdego pracownika. W przypadku sytuacji 4 podstawą są natomiast antropometryczne proporcje człowieka, uwzględniające średnie wymiary dla rozpatrywanej populacji.

Sytuacja 4 jest zatem kompromisowym rozwiązaniem, które uwzględnia zagadnienia techniczno-organizacyjne.

- Zakres pracy

Przez zakres pracy rozumie się ograniczony obszar, w którym dla określonych warunków, od prawidłowego położenia, odchyłać się mogą miejsca poboru informacji.

Wyróżnia się trzy zakresy pracy: AB1, AB2, AB3. Pierwszy z nich (AB1) obejmuje czynności robocze występujące bardzo często i mające duże znaczenie dla montażu. Pozostałe zaś (AB2 i AB3) dotyczą czynności występujących rzadko i mających mniejsze znaczenie.

- Płeć

Ten czynnik uwzględnia, czy na stanowiskach pracują tylko kobiety (1) czy kobiety i mężczyźni (2), czy też sami mężczyźni (3).

Wysokość miejsca pracy dla sytuacji 2 i 3 uwzględnia fakt, że w większości przypadków wzrost pracowników wynosi 147–185 cm. Jeżeli przy stanowiskach pracują np. tylko same kobiety lub sami mężczyźni, należy stanowisko dostosować do wzrostu, który dla kobiet wynosi 147–172 cm, a dla mężczyzn 159–185 cm. Wymiary te należy uwzględnić w projektowaniu montażowego stanowiska pracy [4].

Stworzenie odpowiednich warunków pracy, które sprzyjałyby człowiekowi i nie powodowałyby jego niepotrzebnego obciążenia (znużenie, zmęczenie), ma bezpośredni wpływ na efektywność pracy ludzi. Kształtowanie odpowiednich warunków pracy w szczególności dotyczy:

- prawidłowego wymiarowania oświetlenia przestrzeni produkcyjnej i stanowisk pracy – przez dobieranie odpowiedniego natężenia i koloru oświetlenia, właściwego rozmieszczenia lamp, świetlówek i innych urządzeń wytwarzających energię świetlną, w zależności od montowanego wyrobu i wykonywanej pracy,

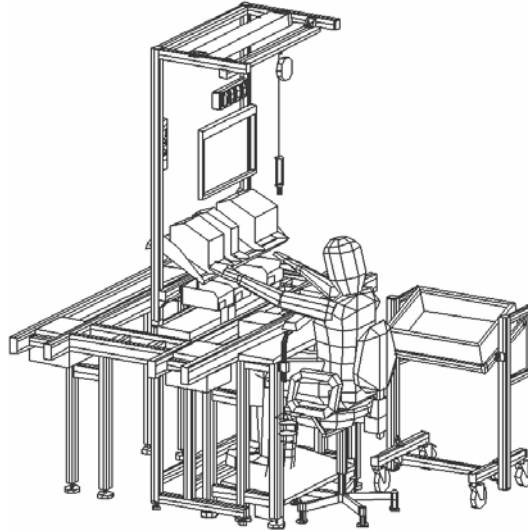
- unikania i ograniczania hałasu oraz drgań przekraczających dopuszczalne wielkości graniczne – przez usuwanie lub ograniczanie źródła hałasu, oddzielanie urządzeń wytwarzających intensywne drgania oraz stosowanie ścianek tłumiących dźwięk, całych kabin dźwiękoszczelnych czy też środków ochronnych, np. słuchawek,

- zapewniania odpowiedniej klimatyzacji, w zależności od rodzaju przeprowadzanej pracy – poprzez dobranie i regulowanie temperatury powietrza, jego względnej wilgotności oraz natężenia przepływu,

- unikania lub ograniczania zanieczyszczenia powietrza – przez odciąganie gazów z otaczającego powietrza, nawiew świeżego powietrza oraz stosowanie pochłaniaczy, filtrów i masek,

- stosowanie miękkich mat podłogowych przy montażu w pozycji stojącej.

Przykład projektu stanowiska montażu ręcznego



Rys. 6.4. Stanowisko montażu ręcznego powiązane z paletowym systemem transportowym, zaprojektowane i wdrożone w ITMiA Politechniki Wrocławskiej [2]

Na rysunku 6.4 przedstawiono przykładowe, ergonomiczne stanowisko montażu ręcznego wdrożone w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej. Powiązane jest ono bezpośrednio z elastycznym, paletowym systemem transportowym firmy BOSCH. Stanowisko to jest przeznaczone zarówno do pracy siedzącej jak i stojącej oraz umożliwia szybką zmianę profilu produkcji. Wyposażone jest w indywidualne oświetlenie, zasilanie elektryczne i pneumatyczne, dwa zestawy standardowych pojemników na części, przenośny magazyn oraz tablicę informacyjną. Stanowisko to zostało zaprojektowane z pomocą systemu FMSsoft firmy Bosch, a wszystkie jego części składowe zostały następnie zakupione w tej firmie.

6.2. Projektowanie gniazd montażu ręcznego

Organizacja procesu montażowego w gniazda montażowe bazuje na założeniu, że transport części pomiędzy procesami i stanowiskami jest marnotrawstwem i należy go redukować, a także, na tym, że przepływ ciągły montowanego wyrobu pomiędzy stanowiskami montażowymi, na zasadzie sztuka po sztuce (lub w małych ustalonych partiach), jest najbardziej efektywnym, pod wieloma względami,

systemem. Gniazdo to układ ludzi, maszyn i metod zgodny z sekwencją procesu produkcyjnego, który pozwala realizować niezbędne operacje technologiczne w celu wyprodukowania gotowego wyrobu lub jego podzespołu. Najbardziej znanym rozmieszczeniem przestrzennym gniazda jest układ litery U, ale możliwe są różne inne kształty.

Ciągły przepływ realizowany w gnieździe montażowym to koncepcja, która w swym idealnym kształcie oznacza, że części są przetwarzane i przekazywane bezpośrednio z jednego stanowiska na drugie, po jednej sztuce. Każde stanowisko przetwarza tylko tę jedną część, której potrzebuje następne stanowisko, krótko przed tym nim jej potrzebuje i wielkość partii transportowej jest równa jeden. Tzw. szczupłe podejście do wytwarzania (ang.: *Lean Manufacturing*) dąży do osiągnięcia ciągłego przepływu w każdym możliwym miejscu, ponieważ [5]:

- Używane są minimalne zasoby. Liczba ludzi (pośrednio i bezpośrednio produkcyjnych), maszyn, materiałów, budynków, urządzeń transportowych, itd., wymagana do wytworzenia wyrobu, jest utrzymywana na minimalnym poziomie. Oznacza to większą produktywność i niższy koszt.

- Skrócony zostaje czas realizacji, co umożliwia szybszą reakcję na wymagania klienta i krótszy czas „cyklu obrotu pieniądza” (czas, jaki upływa między zapłaceniem za surowce i otrzymaniem pieniędzy ze sprzedaży produktów wytworzonych z tych surowców).

- Problemy, takie jak braki, szybko stają się widoczne zamiast pozostawać w ukryciu. Problemy mogą być identyfikowane szybko i korygowane przed dalszą obróbką. Łatwiejsze jest zidentyfikowanie źródłowych przyczyn nieprawidłowości, jeżeli są one wykrywane zaraz po wystąpieniu.

- Pobudzona jest komunikacja pomiędzy stanowiskami, które zostają połączone na zasadzie „klient – dostawca”.

	Załadowanie maszyn	Cykl pracy maszyny	Opróżnienie maszyny	Transfer części
1				
2		Auto		
3		Auto	Auto	
DUŻY SKOK INWESTYCYJNY				
4	Auto	Auto	Auto	
5	Auto	Auto	Auto	Auto

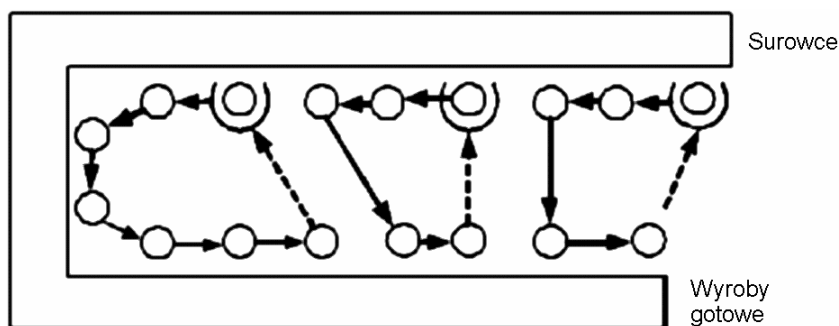
Rys. 6.5. Pięć poziomów automatyzacji [5]

Podczas projektowania ciągłego przepływu w gnieździe montażowym niezbędne jest szczegółowe przeanalizowanie i rozważenie wielu kwestii dotyczących:

- przebiegu procesu, jego wszystkich operacji i zabiegów oraz czasu ich wykonania,
- maszyn, ich zdolności do pracy w czasie taktu oraz poziomu ich automatyzacji (rys. 6.5),
- przestrzennego rozmieszczenia procesu,
- równoważenia obciążenia pracą operatorów i sposobów rozdziału między nimi pracy,
- harmonogramowania przy mieszanym modelu produkcji.

Przykładowo, podczas projektowania rozdziału pracy między operatorów w gnieździe produkcyjnym można wziąć pod uwagę różne metody:

- podział pracy pomiędzy operatorów, z których każdy wykonuje część pracy trwającą przez czas taktu, często przemieszczając się pomiędzy różnymi stanowiskami (rys. 6.6),
- „okrażenie”, gdzie jeden operator wykonuje wszystkie zabiegi przemieszczając się po pełnym obwodzie gniazda w kierunku przepływu materiału, następny operator pracuje kilka stanowisk z tyłu,
- odwrócony przepływ, w którym operatorzy robią okrażenie w kierunku przeciwnym do przepływu materiału,
- kombinacja podziału pracy i okrażenia lub odwróconego przepływu,
- jeden operator na stację; każdy operator stoi przy jednym stanowisku roboczym,
- „zębatka”, gdzie każdy operator obsługuje dwa stanowiska i przemieszcza montowany wyrób za każdym razem, gdy przechodzi do stanowiska w kierunku przepływu materiału.



Rys. 6.6. Przykładowy podział pracy między operatorów w gnieździe i ich przemieszczania się [5]

Przykład przeprojektowania systemu montażowego



Na rysunkach 6.7 i 6.8 przedstawiono dwa przykładowe systemy montażu wirnika po i przed zmianami w zakładzie korporacji Remy w Świdnicy. W celu przeprojektowania systemów zgodnie z metodyką opisaną przez Harrisa i Rothera [5] należy [1]:

- przeanalizować kolejno wszystkie czynności i operacje pod kątem konieczności ich wykonywania przez operatorów,
- określić potrzeby klienta i na tej podstawie obliczyć Czas Taktu (tempo zamówień klienta – co jaki czas klient zamawia kolejną sztukę),
- zaprojektować przepływ jednej sztuki przez proces montażu,
- wyeliminować oczekiwania pracowników na zakończenie cyklu pracy maszyn,
- ustawić w ten sposób stanowiska pracy, aby umożliwić łatwe przemieszczanie się pracowników do kolejnych miejsc pracy,
- uprościć wyposażenie technologiczne,
- uelastyczyć ustawienie maszyn (np. elastyczne przyłączenie mediów, urządzenia na kółkach),
- dostosować istniejące stanowiska do pracy w pozycji stojącej,
- zminimalizować zapasy produkcji w toku,
- zaprojektować odpowiedni układ prezentacji części, aby operator mógł łatwo i szybko je pobierać,
- wdrożyć zasady pracy standaryzowanej (rys. 6.9).

Uzyskane rezultaty w wyniku wdrożenia przeprojektowanych systemów montażowych przedstawia tabela 6.2. Istotną cechą przeprojektowanych gniazd montażowych jest elastyczność wielkości produkcji. Przed zmianami na liniach montażowych stale musiała pracować stała liczba operatorów, 16 w przypadku linii z rys. 6.7 oraz 15 w przypadku linii z rys. 6.8. W przeprojektowanych gniazdach liczba operatorów może być dostosowana do popytu klienta, przy czym każdorazowo należy zaprojektować odpowiedni rozdział pracy między nimi. Minimalna liczba operatorów dla przeprojektowanego systemu montażowego z rys. 4.7 wynosi 6, a dla systemu z rys. 4.8 wynosi 3.

Tabela 6.2. Uzyskane rezultaty po zmianach systemów montażowych w ujęciu procentowym [1]

	Produktywność (liczba szt./osoba/h)	Koszt zapasów	Powierzchnia	Czas realizacji
Linia montażu wirnika 1	136%	35%	88%	37%
Linia montażu wirnika 2	100%	61%	57%	100%

		PG260N 955 400.00 Celka montażu szczotkotrzymacza				
Op. nr. 060_Montaż 4 sprężym szczotkotrzymacza						
KROK	OPIS CZYNNOŚCI W OPERACJI	CZAS (Sek.)				
1	Pobrać 4 sprężyny	2				
2	Założyć sprężyny 4 szt.	9				
3	Skrócić przyrząd	1				
4	Założyć szczotkotrzymacz	2				
5	Dosunąć szufladkę	1				
6	Uruchomić cyki – sterowanie dwuręczne	2				
7	Wysunąć szufladkę	1				
8	Wyjąć szczotkotrzymacz z przyrządu	1				
9	Obrócić przyrząd	1				
ŁĄCZNY CZAS (sek.):		20				
Lp.	PRZEBRAJANIE	CZAS				
1						
2						
3						
Lp.	INNE CZYNNOŚCI	CZAS				
1						
2						
3						
				Wykonad.	Nazwisko i imię Ireneusz Jędrusiak	Data 2003-01-23
				Numer weryfikacji	Nazwisko weryfikującego	Data

Rys. 6.9. Przykładowa karta pracy standaryzowanej dla operacji montażu 4 sprężyn w gnieździe montażu szczotkotrzymacza w zakładzie korporacji Remy w Świdnicy [6]

Literatura

- [1] Bielewski A., *Doświadczenia ELMOT DR we wdrażaniu Lean Manufacturing w systemach produkcyjnych*. Materiały II Konferencji Lean Manufacturing Wrocław 3–4.06.2002, WCTT PWr.
- [2] Chrapek K., Bielski S., Koceluch A., Koch T., Kozera M., Kuciel A., Malicki J., Mydlikowski S., Smalec Z., Żaba K., *Opracowanie podstaw budowy elastycznych systemów montażowych*, Raporty Inst. Technol. Masz. Automat. PWr., 1997.
- [3] Lotter B., *Wirtschaftliche Montage*, VDI Verlag, Düsseldorf 1992.
- [4] Richter E., Schilling W., Weise W., *Montage im Maschinenbau*, VT Verlag Technik, Berlin 1978.
- [5] Rother M., Harris R., *Tworzenie Ciągłego Przepływu*. WCTT PWr., Wrocław 2004.
- [6] Szostak J., Bielewski A., *Delco Remy Poland – wdrożenie przepływu ciągłego*. Materiały IV Konferencji Lean Manufacturing Wrocław 21–23.06.2004, WCTT PWr.

7. Montażowe systemy transportowe

Dla prowadzenia montażu ruchomego potrzebne są zazwyczaj różnorodne środki transportowe. W przeważającej liczbie przypadków zmiana rodzaju oraz umiejscowienia urządzeń transportowych pociąga za sobą duże nakłady finansowe, dlatego też wybór urządzenia transportowego powinien być dokonany z dużą rozważą i z uwzględnieniem wszystkich czynników. Wybrany spośród wielu odmian środków transportowy powinien odpowiadać zadaniom, jakie ma spełniać w montażu, tj. musi spełniać wymagania technologiczne i organizacyjne. Powinien być dostosowany do perspektywnie ocenionego zakresu zastosowań oraz, przez porównanie kilku wariantów, stanowić ekonomicznie opłacalne i uzasadnione wyposażenie montażu ruchomego.

7.1. Klasyfikacja montażowych urządzeń transportowych

W transporcie międzystanowiskowym w procesach technologicznych montażu, zależnie od stopnia rozwoju techniki, znalazły zastosowanie następujące urządzenia transportowe [1]:

Ześlizgi

Ześlizgi są urządzeniami transportowymi, które wymagają najmniejszych nakładów finansowych. Ich zastosowanie w montażu zależy głównie od montowanego zespołu/wyrobu, tj. od jego kształtu i masy. Z tego też powodu nie mogą być powszechnie stosowane. Do przemieszczania montowanych zespołów wykorzystuje się w nich prawo powszechnego ciężenia. Obrazuje to najprostszy przykład ześlizgu, jakim jest równia pochyła.

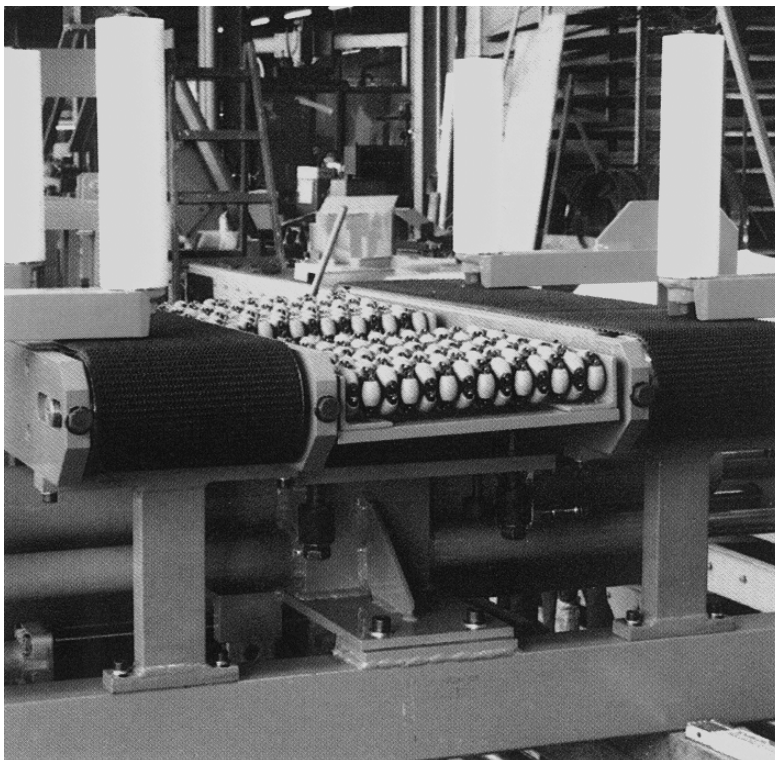
Podajniki taśmowe

Podajniki taśmowe (rys. 7.1) służą do łączenia stanowisk montażowych. Montowane zespoły przeważnie pobiera się i odkłada ze stanowisk umieszczonych obok

podajnika taśmowego. Taśma podajnika posuwa się ruchem ciągłym i podaje przedmioty montażowe do następnych stanowisk. Taśma działa również jako bufor między-stanowiskowy, gdyż chwilowo może znajdować się na niej wiele podzespołów.

Przenośniki podwieszane

Przenośniki podwieszane są urządzeniami transportowymi stosowanymi wtedy, gdy w pomieszczeniu, w którym odbywa się montaż, występują trudne warunki. Umożliwiają one montowanie podzespołów w stanie podwieszonym lub od dołu. Mogą być one przesuwane z użyciem napędu własnego lub ręcznie.



Rys. 7.1. Przenośnik dwutaśmowy wyposażony w urządzenie centrujące

Przenośniki rolkowe

Przenośniki rolkowe (rys. 7.2) znajdują wielorakie zastosowanie. Ograniczenia wynikają tutaj głównie z braku możliwości dokładnego pozycjonowania montowanych podzespołów na stanowisku montażowym oraz z wrażliwości tych przenośników na uderzenia. Dla dużych i ciężkich przedmiotów przenośniki te mają przeważnie tory prostoliniowe. Dla lżejszych można stosować zwrotnice lub odcinki łuków, umożli-

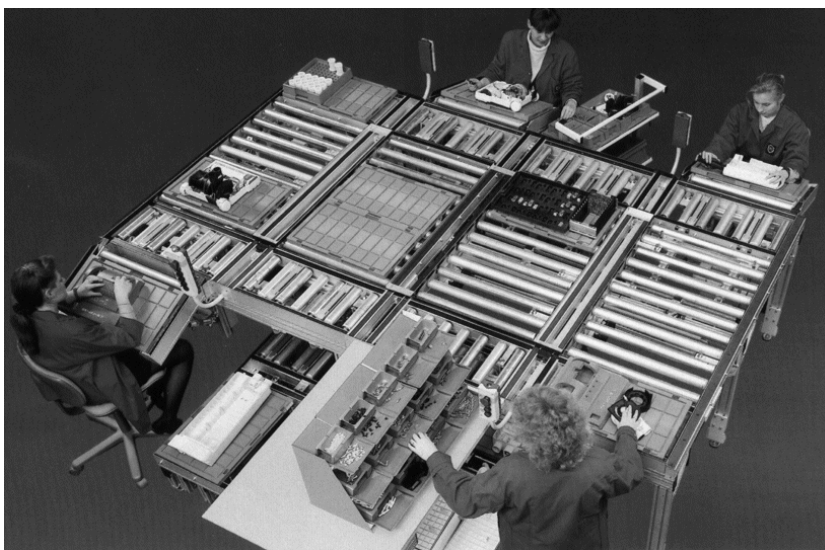
wiające dostosowanie transportu do wymagań przestrzennych. Dla dłuższych odcinków transportowych przenośniki rolkowe mają własny napęd.

Przenośniki płytowe

Przenośniki te są najczęściej stosowanymi urządzeniami transportowymi w masowym lub wielkoseryjnym montażu przepływowym. Są one przydatne do montażu wyrobów o różnych wymiarach i masach, zarówno na przenośniku, jak i obok niego. Przy montażu na przenośniku można stosować palety montażowe, które pozostają na płytach również w czasie ich ruchu powrotnego. Praca przenośnika płytowego jest oparta na zasadach podobnych jak w przenośnikach taśmowych, z tym że zamiast przesuwającej się taśmy przesuwają się połączone ze sobą płyty.

Przenośniki pneumatyczne

Przenośniki pneumatyczne znajdują zastosowanie w montażu przepływowym, w którym wymaga się dokładnego osadzenia montowanych podzespołów na wielu stanowiskach pracy, tzn. muszą one być wypoziomowane przy niewielkich dopuszczalnych odchyleniach od wartości zadanej.



Rys. 7.2. Przenośnik rolkowy wykorzystany w transporcie międzystanowiskowym

Podajniki kroczące

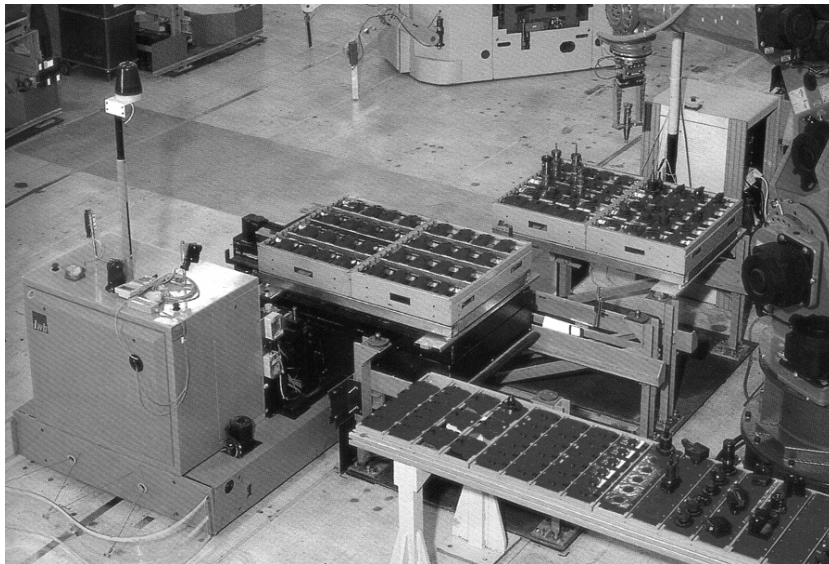
Podajniki tego rodzaju są urządzeniami transportowymi, które unoszą równomiernie wszystkie znajdujące się w montażu podzespoły, przesuwając je o jedno stanowisko dalej i osadzając na dokładnie ustalonych pozycjach. Powracają następnie pod spodem do położenia początkowego.

Wózki szynowe

Wózki te, to urządzenia transportowe stosowane dla mało- i średnioseryjnego montażu przepływowego. Poruszają się one wzdłuż szynowej drogi transportowej na ustalonych odcinkach. Mogą być napędzane grupowo (np. za pomocą liny) lub indywidualnie za pomocą własnego napędu. Wymagają one sztywnej konstrukcji nośnej, jednak w porównaniu do innych urządzeń transportowych, wózki szynowe mogą być bardziej obciążane (do ok. 1,5 tony), a ich prędkość może sięgać nawet 2,5 m/s. Do zalet należy ich duża dokładność pozycjonowania, wadą natomiast jest mała elastyczność wózków co do trajektorii ruchu.

Wózki indukcyjne

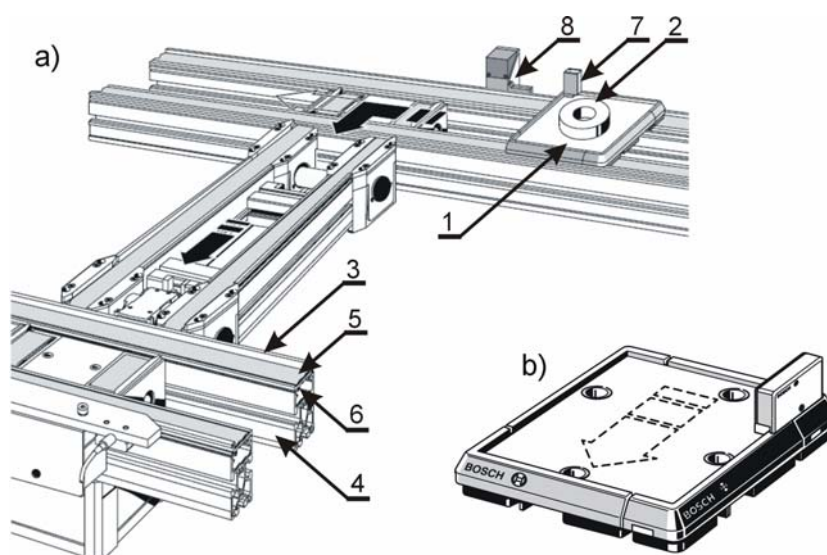
Wózki bezszynowe to nowoczesne urządzenia transportowe, mające charakter przyszłościowy. Poruszają się one torami wyznaczonymi przez przewody elektryczne zagłębione w podłożu (rys. 7.3). Charakteryzują się one dużą manewrowością, możliwością integracji w istniejące struktury produkcyjne, łatwym dostępem do maszyn i niskimi nakładami przy zmianie dróg transportowych. Osiągają jednak mniejsze dokładności pozycjonowania niż wózki szynowe, mniejsze prędkości ruchu (do 1 m/s) i mniejszy udźwig (do 1 tony). Ze względu na kinematyczne rozwiązania napędu, wózki bezszynowe podzielić można na: wózki z możliwością jazdy do przodu, do przodu i do tyłu z jednakowymi prędkościami oraz wózki z możliwością jazdy w kierunku wzdłużnym (szybko) i poprzecznym (wolno).



Rys. 7.3. Wózek indukcyjny dostarczający części do zrobotyzowanego stanowiska montażowego (IWB Technische Universität München)

Modułowe systemy transportowe

Systemy te są przykładem nowoczesnego rozwiązania transportu za pomocą przenośników taśmowych. Są to systemy o budowie modułowej, umożliwiającej zestawianie układów transportowych o różnych konfiguracjach. Przemieszczanie przedmiotów odbywa się na specjalnych paletach transportowych za pośrednictwem nośników taśmowych lub płytowych. Na paletach transportowych mocowane są palety montażowe z odpowiednim oprzyrządowaniem mocującym, za pomocą którego mocowane i ustalane są montowane wyroby. Dodatkowo palety transportowe mogą zostać wyposażone w nośnik danych, w których przechowywane są informacje o kolejności operacji montażowych przewidzianych dla danego wyrobu, aktualnym jego stanie, przyczynach powstania zakłócenia w przebiegu procesu montażu itd. Ta dodatkowa możliwość w powiązaniu z modułowością systemu sprawiły, że tego typu systemy transportowe znalazły powszechne zastosowanie w elastycznych systemach montażowych. Przykładem takiego systemu jest system transportowy firmy Bosch (rys. 7.4).



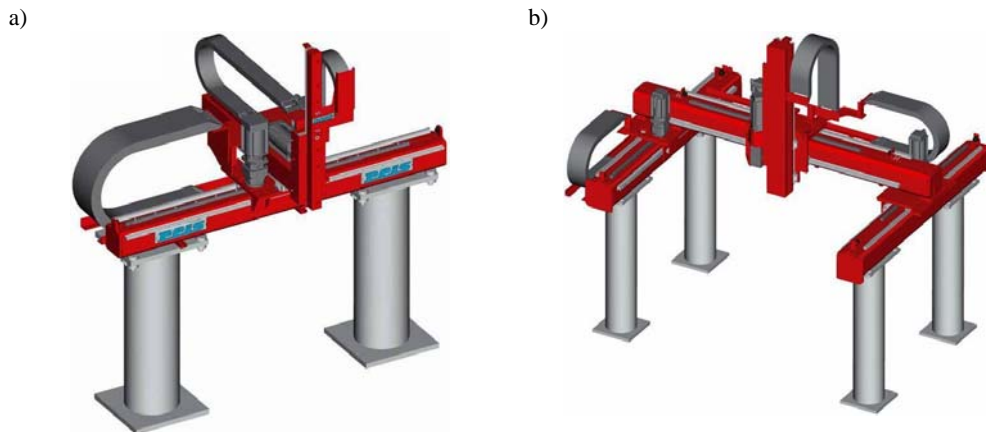
Rys. 7.4. Paletowy system transportowy firmy Bosch [3]: a) przenośnik dwutaśmowy, b) nośnik palety;
 1 – paleta z wyrobem, 2 – wyrób, 3 – krawędź prowadząca, 4 – kształtownik, 5 – taśma,
 6 – tor powrotny taśmy, 7 – pamięć danych związanych z paletą (MDT),
 8 – głowica odczytująco-zapisująca (SLS)

Roboty i manipulatory bramowe

Spośród robotów i manipulatorów najszersze zastosowanie w transporcie montażowym znalazły roboty i manipulatory bramowe (rys. 7.5). W stosunku do innych

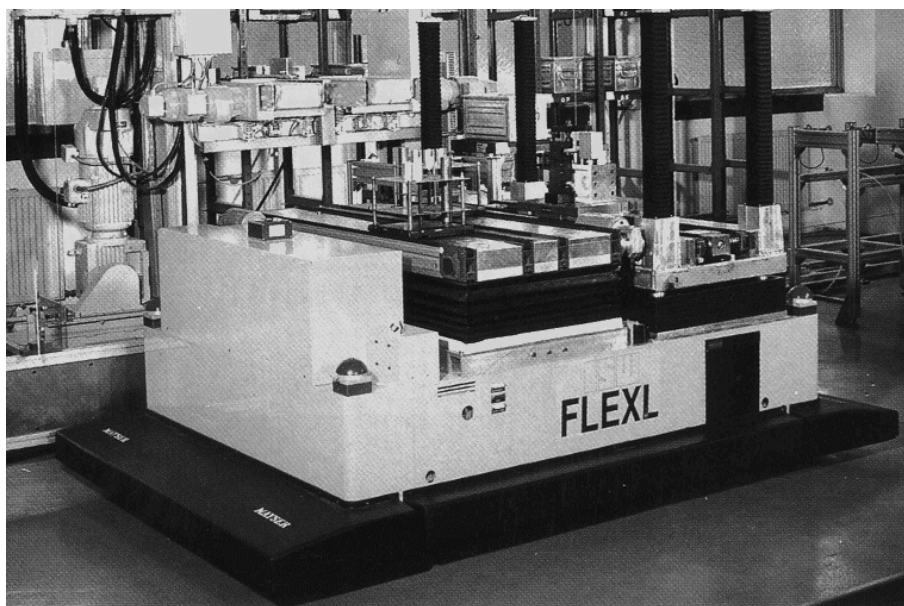
urządzeń transportowych cechuje je lepszy dostęp do stanowisk montażowych oraz znacznie większa dokładność i powtarzalność osiągnięcia zadanych położeń. Zastosowanie manipulatorów i robotów bramowych umożliwia również lepsze wykorzystanie powierzchni hali produkcyjnej.

Urządzenia te składają się z części nośnej, „wózka” z chwytakami, napędów i układu sterowania. W zależności od konstrukcji nośnej można wyróżnić roboty i manipulatory bramowe liniowe i powierzchniowe. W robotach bramowych liniowych konstrukcję nośną stanowi pojedyncza brama, umożliwiająca pracę chwytaków na dłuższych odcinkach tylko w dwóch osiach. Brama podwójna charakteryzuje roboty (manipulatory) powierzchniowe, w których chwytaki mogą poruszać się w trzech głównych osiach. Często układy kinematyczne takich systemów transportowych wyposażone są w dodatkowy ruch obrotowy wokół osi pionowej. Urządzenia transportowe tego typu wykorzystywane są w systemach montażowych złożonych z kilku stanowisk roboczych. Zakres przesuwu chwytaka może wynosić: w kierunku poziomym i wzdłużnym nawet do kilkudziesięciu metrów, w kierunku poziomym poprzecznym do kilkunastu metrów, a w kierunku pionowym w granicach 2 metrów.



Rys. 7.5. Robot (manipulator) bramowy liniowy (a) i powierzchniowy (b) [2]

Przykładem mobilnego robota transportowego, który może być wykorzystany w systemach montażowych, jest bezzałogowy wózek transportowy FLEXL opracowany w ISW Universität Stuttgart (rys. 7.6). Sterowanie ruchem robota, planowanie trasy przebiegu i określanie jego aktualnej pozycji wspomagane jest przez laserowy system skanowania przestrzeni pracy. Dodatkowo zastosowane czujniki antykolizyjne czynią to urządzenie nie tylko w pełni elastyczne, ale także bezpieczne dla ludzi i innych urządzeń.



Rys. 7.6. Robot transportowy FLEXL (ISW *Universität Stuttgart*)

Suwnice sterowane numerycznie

Suwnice sterowane numerycznie uznawane są, tak jak i wózki bezszynowe, za rozwiązania o charakterze przyszłościowym. Ich zastosowanie może dotyczyć jednak tylko przypadku montażu przedmiotów o wyjątkowo dużej masie i gabarytach lub przy ograniczeniach powierzchni hali produkcyjnej.

7.2. Zestawienie i dobór montażowych urządzeń transportowych

Określenie właściwego urządzenia transportowego dla systemu montażowego, przy przedsięwzięciach inwestycyjnych lub modernizujących, powinno być dokonane we wczesnej fazie projektowania. Ważne jest, aby dokładnie opisać zadania i wymagania stawiane tego typu urządzeniom w celu wyznaczenia parametrów niezbędnych podczas ich wyboru i wyposażania.

Przy wyborze środków transportowych w montażu należy kierować się:

- wymaganiami stawianymi przez montowany wyrób (masa, wymiary),
- drogą podawania montowanego wyrobu, szczególnie jej długością i geometrycznym ukształtowaniem,
- zapewnieniem dostępu do montowanego wyrobu z wymaganych kierunków,

Tabela 7.1. Zestawienie środków transportu i ich dobór [2]

Lp.	Środek transportu	Własności transportowanego przedmiotu			Możliwość mocowania przedmiotu	Typ środka podającego	
		masa	H/L	kształt			
1	Ześlizgi	a)	średni	dopasowany	istnieje	podłogowy	
2	Przenośniki taśmowe	mała	średni	dowolny	brak ^{c)}	podłogowy	
3	Przenośniki rolkowe	^{c)}	średni	dopasowany	brak ^{c)}	podłogowy	
4	Podajniki kołowe	duża	duży	dowolny	istnieje	portalowy	
5	Przenośniki płytowe	średnia	średni	dopasowany	brak ^{c)}	podłogowy	
6	Wózki mont. bezszynowe	b. duża	duży	dopasowany	istnieje	podłogowy	
7	Wózki mont. szynowe	b. duża	duży	dopasowany	istnieje	podłogowy	
8	Przenoś. pneumatyczne	b. duża	średni	dopasowany	brak	podłogowy	
9	Przenośniki krokowe	mała	średni	dopasowany	istnieje	podłogowy	
10	Modułowe sys. trans.	średnia	średni	dopasowany	istnieje	podłogowy	
11	Suwnice sterowane num.	duża	duży	dowolny	istnieje	portalowy	
12	Manipulatory i roboty	średnia	średni	dopasowany	brak	podł. lub naśc.	
Waga		Wagi cech w skali (0-5)			Waga (0-5)	Waga (0-5)	
Przykład		3	0	5	2	4	
Środek transportu		Ocena cech od (0-1) x waga			(0-1) x waga	(0-1) x waga	
1. Przykład dla ześlizgów		0 x 3	1 x 0	1 x 5	0 x 2	1 x 4	
2.							
3.							
Lp.	Możliwości środka podającego co do:			Rodzaj produkcji	Czas taktu	Nakłady finansowe	% wykorzystania do nowej lub zmienionej produkcji
	zasięgu	kształtu trajektorii	zajmowanej powierzchni				
1	małe ^{b)}	mała	średnia	mało i średnioseryjna	średni lub duży	średnie	małe
2	duże	mała	średnia	średnio i wielkoseryjna	b.mały - średni	duże	duże
3	średnie	średnia	średnia	średnio i wielkoseryjna	b.mały - średni	średnie	średnie
4	duże	duża	mała	średnio i wielkoseryjna	mały lub średni	średnie	średnie
5	średnie	mała	średnia	średnio i wielkoseryjna	mały lub średni	duże	duże
6	duże	średnia	średnia	mało i średnioseryjna	średni lub duży	duże	średnie
7	duże	mała	średnia	mało i średnioseryjna	średni lub duży	duże	średnie
8	średnie	duża	duża	mało i średnioseryjna	średni lub duży	duże	małe
9	średnie	mała	duża	mało i średnioseryjna	średni lub duży	duże	małe
10	średnie	średnia	średnia	średnio i wielkoseryjna	mały i średni	duże	średnie
11	średnie	mała	mała	jednostkowa i małoser.	b. duży i duży	duże	małe
12	małe	mała	średnia	średnio i wielkoseryjna	mały lub średni	duże	średnie
Wagi cech w skali (0-5)		Waga (0-5)			Waga (0-5)	Waga (0-5)	Waga (0-5)
1		1	2	5	4	3	3
Ocena cech od (0-5)		(0-1) x waga			(0-1) x waga	(0-1) x waga	Suma
0 x 1		0 x 1	0 x 1	1 x 5	1 x 4	1 x 3	0 x 3
							21

Uwagi do tabeli 7.1:

- a) w zależności od wykonania konstrukcji wyróżnia się:
 - dla wykonania lekkiego: nośność 1000 N/m lub 20 kg,
 - dla wykonania średniego: nośność 2500 N/m lub 50 kg,
 - dla wykonania ciężkiego: nośność 6000 N/m lub 120 kg,
- b) odległość ograniczona minimalnym kątem ześlizgu; kąt ten musi być większy od 5° ,
- c) istnieje możliwość zamocowania przedmiotu za pośrednictwem dodatkowych elementów, jak palety, skrzynki itd.
- d) w zależności od wykonania wyróżnia się:
 - dla wykonania lekkiego: nośność 2000 N/m,
 - dla wykonania średniego: nośność 5000 N/m,
 - dla wykonania ciężkiego: nośność 10000 N/m.

Objaśnienia do tabeli 7.1:

1. Masa: *mała* – do 20 kg, *średnia* – do 50 kg, *duża* – do 100 kg, *b. duża* – powyżej 100 kg.
2. H/L (stosunek wysokości do długości przedmiotu): *mały* – $H/L < 2$, *średni* – $2 \leq H/L < 3$, *duży* – $H/L \geq 3$.
3. Kształt: *dowolny* – dowolnie ukształtowany przedmiot, brak dodatkowych elementów ułatwiających transport i mocowanie na urządzeniu transportowym, *dopasowany* – odpowiedni kształt przedmiotu umożliwiający jego transport i mocowanie bez dodatkowych elementów.
4. Możliwość mocowania przedmiotu: *brak* – niemożliwe mocowanie przedmiotu do standardowo wyposażonego urządzenia transportowego bez elementu pośredniego jakim może być paleta, *istnieje* – możliwe mocowanie przedmiotu montażowego do standardowo wyposażonego urządzenia transportowego bez elementów pośrednich.
5. Odległości: *małe* – do 20 m, *średnie* – do 100 m, *duże* – powyżej 100 m.
6. Możliwość kształtowania trajektorii: *mała* – odcinki prostoliniowe i łuki o dużym promieniu, *średnia* – odcinki prostoliniowe i łuki o średnim promieniu, *duża* – odcinki prostoliniowe i łuki o małym promieniu.
7. Zajmowana powierzchnia: *mała* – mniej niż 5% całej powierzchni, *średnia* – mniej niż 20%, ale więcej niż 5% całej powierzchni, *duża* – więcej niż 20% całej powierzchni.
8. Czas taktu montażu: *bardzo mały* – mniejszy od 10 s, *mały* – od 10s do 15 min., *średni* – od 15 do 60 min., *duży* – powyżej 60 min.
9. Procentowe wykorzystanie do nowego lub zmienionego profilu produkcji: *małe* – do 30%, *średnie* – od 30% do 60%, *duże* – powyżej 60%.

- zapewnieniem wymaganej dokładności położenia montowanego wyrobu na poszczególnych stanowiskach montażowych,
- przestrzenną możliwością dostosowania do montowanego wyrobu środka transportowego,
- formą organizacji produkcji,
- warunkami produkcyjnymi (czasem trwania produkcji, wielkością rocznej produkcji, liczbą wariantów),
- przysłymi wymaganiami co do modernizacji, rozbudowy i możliwości współpracy z innymi urządzeniami czy środkami transportowymi.

Urządzenie transportowe, dla którego stwierdzono, że spełnia wymienione wymagania, należy przeanalizować pod względem ekonomicznym. Wynik takiej analizy upoważnia dopiero do podjęcia decyzji o jego zastosowaniu.

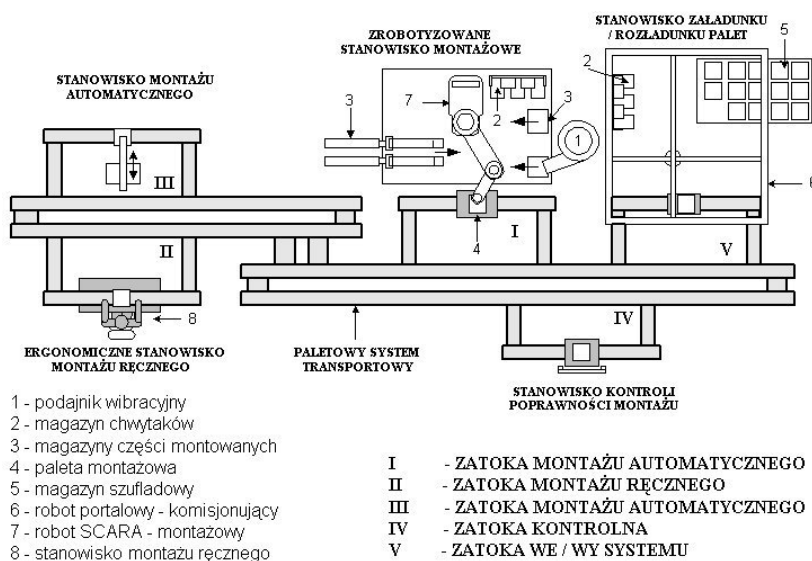
Najważniejsze urządzenia transportowe, wraz z przykładową metodą ich wyboru, przedstawiono w tabeli 7.1. Wyboru urządzenia transportowego dokonuje się tu na podstawie porównania sum ważonych ocen cech poszczególnych środków transportowych. Współczynniki wagowe określają znaczenie parametrów urządzeń transportowych branych pod uwagę. Wyboru konkretnego systemu transportowego dokonuje się spośród tych, które uzyskały największy wskaźnik spełnienia założonych wymagań.

Zestawione w kolumnach tabeli 7.1 cechy środków transportowych mogą zostać zastąpione przez inne lub być rozszerzone o kolejne, istotne ze względu na strategię czy charakter produkcji danego przedsiębiorstwa. Należy także odpowiednio dobrać i niekiedy korygować współczynniki wag poszczególnych cech, aby wynik analizy odpowiadał aktualnym, faktycznym potrzebom i możliwościom zakładu. Można także wprowadzić pojęcie cechy krytycznej, której spełnienie jest konieczne, aby można było dalej brać pod uwagę dany środek transportowy.

7.3. Przykład zastosowania modułowego systemu transportowego w elastycznym gnieździe montażowym

System montażowy pokazany na rysunku 7.7 jest zbudowany z dwóch stanowisk montażowych (zrobotyzowanego i ręcznego), modułowego systemu transportowego i zrobotyzowanego stanowiska uzbrajania i rozbrajania systemu w palety transportowe.

Na stanowisku montażu zrobotyzowanego znajduje się robot SCARA Bosch SR800 wyposażony w narzędzie montażowe z możliwością automatycznej wymiany chwytaków składowanych w magazynie przystanowiskowym. W przestrzeni pracy robota znajdują się ponadto końcówki systemów transportowych doprowadzających montowane części z magazynów oraz obrotowy podajnik wibracyjny. Montaż odbywa się po doprowadzeniu palety, wyposażonej w uchwyt mocujący części bazowe, do stanowiska montażowego.



Rys. 7.7. Elastyczne gniazdo montażowe w laboratorium
 Centrum Zaawansowanych Systemów Produkcyjnych, ITMiA Politechniki Wrocławskiej

Ergonomiczne stanowisko montażu ręcznego (rys. 6.4) w pełni kompatybilne z całym elastycznym gniazdem montażowym, umożliwia montaż różnych wyrobów dzięki zastosowaniu elastycznych, ręcznych narzędzi montażowych oraz modułowych zasobników i podajników części. Konstrukcja stanowiska może być w łatwy sposób zmodyfikowana, jeżeli wystąpi konieczność zmiany wariantu wyrobu.

Elastyczny system transportowy wiąże ze sobą poszczególne stanowiska montażowe. System został zaprojektowany w kształcie pętli z dwoma obiegami palet: głównym i pomocniczym oraz dodatkowymi 5 zatokami, spośród których trzy spełniają funkcje technologiczne (wiążą ze sobą stanowiska montażowe), a dwie pozostałe rolę buforów. System charakteryzuje się modułowością konstrukcji i w miarę potrzeb można dowolnie zmieniać jego kształt. W odpowiednich miejscach, wzdłuż systemu transportowego, umieszczone są stacje zapisująco-odczytujące, które komunikują się z mobilnymi nośnikami danych, znajdującymi się na paletach. Komunikacja ta może odbywać się w ruchu, tzn. gdy nośnik danych wraz z paletą przemieszcza się obok stacji zapisująco-odczytującej (rys. 7.4). Odpowiednie zaprogramowanie mobilnych nośników danych związanych z paletą umożliwia realizację rozproszonego sterowania przepływem palet w systemie transportowym, przez kierowanie ich w odpowiedniej sekwencji do kolejnych zatok. Informacje z mobilnego nośnika danych mogą zostać przesłane przez stację zapisująco-odczytującą do sterowania robota, gdy paleta znajdzie się na stanowisku zrobotyzowanym. Umożliwia to uruchomienie odpowiedniego programu, spośród wielu dostępnych, w sterowaniu robota. Rozwiązanie to nadaje gniazdu montażowemu ważną cechę elastyczności wariantowej.

Zrobotyzowane stanowisko uzbrajania i rozbrajania systemu w palety transportowe umożliwia dzięki zastosowaniu robota bramowego przepływ palet między systemem transportowym a magazynem palet. Oprócz tego robot ma system do automatycznej wymiany narzędzi, co pozwala na jego wykorzystanie również do zadań montażowych.

Opracowana struktura elastycznego gniazda montażowego umożliwia wprowadzenie do systemu i realizację operacji montażowych wielu wariantów danego wyrobu lub jego rodziny. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu elastycznych i automatycznie wymienianych narzędzi montażowych i gniazdowego układu systemu, który łączy ze sobą wejście i wyjście palet z systemu oraz umożliwia ich ponowny przepływ przez system. Struktura gniazdowa systemu ma ponadto zdolność do zamienności wykonywania operacji, co przyczynia się do zwiększenia stopnia jego elastyczności.

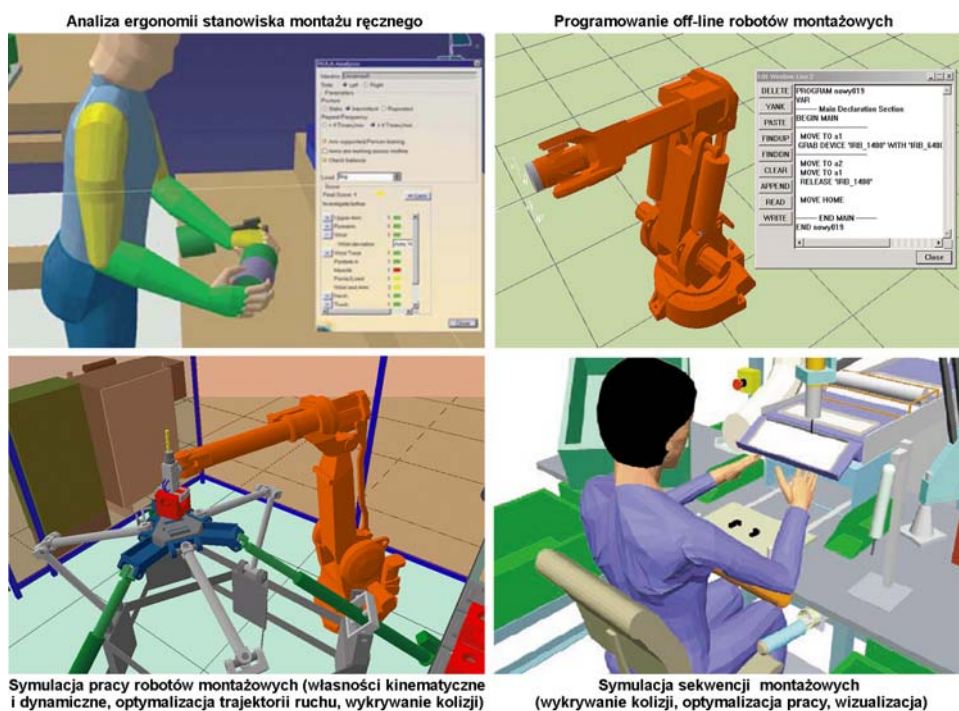
Przed realizacją wybranego zadania (operacji montażu) na zrobotyzowanym stanowisku montażowym przewidziano przeprowadzenie procesu samouzbrajania się robota SCARA w narzędzia montażowe (chwytaki, wymienne szczęki chwytne). Narzędzia montażowe, zamocowane w magazynach lokalnych, są doprowadzane do strefy działania robota na paletach transportowych. Następnie robot pobiera całe palety i umieszcza je w swojej przestrzeni pracy. Na paletach znajdują się tylko te narzędzia, które będą wykorzystywane do montażu danego wyrobu. Po skończeniu procesu montażu robot samoczynnie rozbraja się i oczekuje na pojawienie się nowego zestawu oprzyrządowania.

Literatura

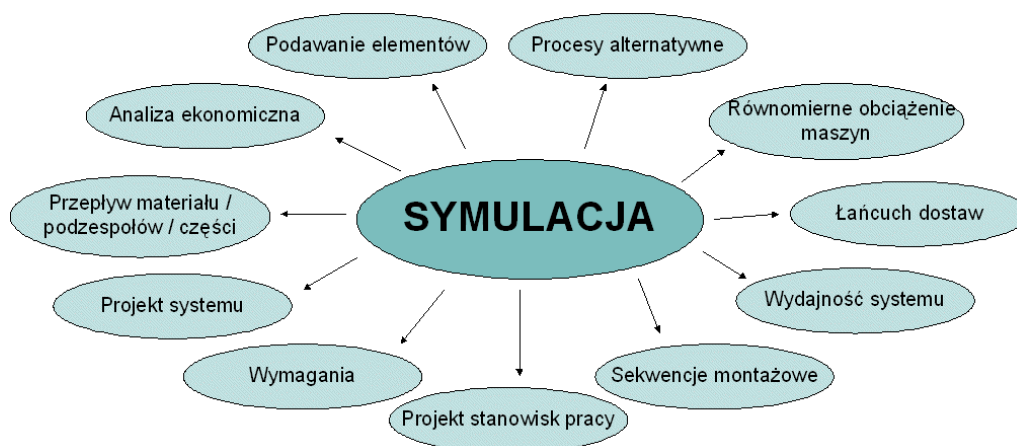
- [1] Chrapek K., Bielski S., Koceluch A., Koch T., Kozera M., Kuciel A., Malicki J., Mydlikowski S., Smalec Z., Żaba K., *Opracowanie podstaw budowy elastycznych systemów montażowych*, Raporty Inst. Technol. Masz. Automat. PWr., 1997.
- [2] Mydlikowski S., *Projektowanie ręcznych, montażowych stanowisk pracy powiązanych z montażowymi systemami transportowymi*, Praca dyplomowa, promotor: Tomasz Koch, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, 1996.
- [3] <http://www.reisrobotics.de>
- [4] <http://www.boschrexroth.com>.

8. Komputerowo wspomaganie projektowanie systemów montażowych

Warunki funkcjonowania przedsiębiorstw, zwłaszcza w kontekście spełniania wymagań klientów, wymagają ciągłego monitorowania oraz udoskonalania systemów montażowych. Dochodzące do tego krótkie cykle życia wyrobów wymuszają na systemach montażowych dużą elastyczność ze względu na częste zmiany. Z drugiej zaś strony coraz bardziej skomplikowane systemy montażowe sprawiają, że proces ich projektowania jest trudny i skomplikowany [1, 2, 3, 4]. Pociąga to za sobą konieczność znacznego zwiększenia efektywności procesu projektowania nowego systemu lub też rekonfiguracji już istniejącego [6, 7, 9].

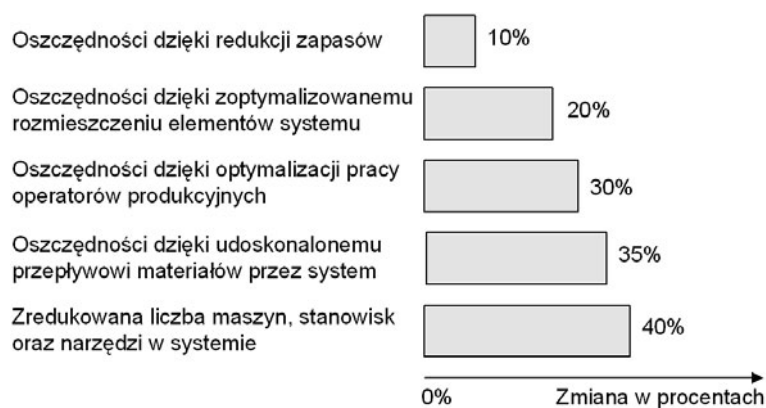


Rys. 8.1. Podstawowe funkcje analizy i symulacji 3D



Rys. 8.3. Zakres zastosowania symulacji w projektowaniu i rekonfiguracji systemów montażowych [21]

Stosowanie takich narzędzi staje się konieczne przede wszystkim ze względów ekonomicznych, ponieważ pozwalają one uniknąć wielu błędów na etapie poprzedzającym wdrożenie procesu. Systemy symulacyjne umożliwiają przeprowadzanie różnych analiz i testów polegających na ocenie systemu montażu, możliwości wprowadzania zmian układu stanowisk i połączeń między nimi, zmian o charakterze logistycznym np. układu magazynów obsługujących montaż, sposobu zasilania gniazd i linii montażowych w materiały itp. Na rysunkach 8.4 oraz 8.5 przedstawiono przeciętne korzyści ze stosowania systemów projektowania i symulacji systemów wytwarzania w przedsiębiorstwach [9].



Rys. 8.4. Średnie oszczędności dzięki komputerowemu projektowaniu systemów wytwarzania [9]



Rys. 8.5. Ogólne zyski z wprowadzenia komputerowego wspomaganie projektowania w przedsiębiorstwie

Komputerowe narzędzia do symulacji systemów montażowych stosowane mogą być na różnych etapach ich projektowania. Na rysunku 8.6 przedstawiono co może być przedmiotem symulacji na poszczególnych poziomach projektowania systemów montażowych. Podkreślić jednak należy, że granice między tymi poziomami są płynne, a rozbudowane opcje wielu programów symulacyjnych pozwalają np. na wykrywanie kolizji podczas operacji montażowych na poziomie montażu części, stanowisk montażu ręcznego/zrobotyzowanego, jak również na poziomie symulacji gniazda lub linii montażowej.



Rys. 8.6. Symulacja na różnych poziomach projektowania systemów montażowych [21]

Oprócz symulacji, stanowiącej sposób weryfikacji zaprojektowanej struktury systemu lub realizowanej sekwencji montażowej, istotne znaczenie odgrywiają aplikacje komputerowe, wspierające użytkownika na kolejnych poziomach procesu projektowania systemu (rys. 8.7).



Rys. 8.7. Wybrane obszary komputerowego wspomaganie projektowania systemów montażu [21]

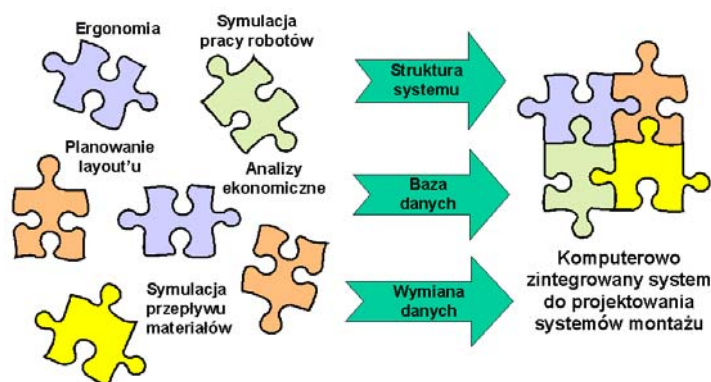
Przejmują one zadania obliczeniowe, wydatnie wspierając proces projektowy, oferując m.in. [21]:

- graficzną, trójwymiarową prezentację montowanych części,
- bazy danych zawierające informacje dotyczące procesów montażu oraz stosowanych środków,
- możliwość generowania struktur procesów montażowych,
- modelowanie alternatywnych sekwencji montażu,
- obliczenia oraz analizy kosztów projektowanych systemów,
- moduły systemów ekspertowych i doradczych,
- analizy procesów montażowych pod kątem ich optymalizacji,
- analizy konstrukcji montowanych wyrobów, np. pod kątem ich przydatności do montażu automatycznego,
- szybkie porównanie wariantów projektowanego systemu itp.

Obecny rynek oprogramowania do projektowania oraz symulacji systemów wytwarzania oferuje bardzo bogatą ofertę aplikacji o zróżnicowanych cenach oraz zróżnicowanym spektrum dostępnych opcji programowych. O ile bardzo dobrze rozwinięte zostały poszczególne obszary komputerowego wspomaganie projektowania systemów montażowych, jak np. symulacja oraz programowanie off-line zrobotyzowanych gniazd montażowych (z aplikacjami komputerowymi, takimi jak *Igrip*, *eM-Workplace*, *Grasp*, *Workspace 5*), projektowanie procesu technologicznego montażu (*Delmia Process Engineer*, *eM-Planner*) czy też symulacja dyskretnych systemów wytwórczych (z programami, takimi jak np. *Quest*, *eM-Plant*, *ProModel*, *Extend*, *Witness*, *Arena*), o tyle do chwili obecnej brak całościowego rozwiązania, pozwalającego projektantowi na posługiwanie się tym samym, jednym modelem, wzbogacanym jedynie o dodatkowe elementy na kolejnych etapach procesu projektowania systemu montażowego.

W ostatnich latach zauważalny staje się trend integrowania poszczególnych modułów programowych. Integracja systemu definiowana jest jako połączenie niejednorodnych składników w całość, tak aby współdziałając w ramach tej całości, wzmacniały one swoją skuteczność [12, 13]. Definicja ta dobrze oddaje ideę integracji w jeden system poszczególnych narzędzi i metod wspomagających projektowanie systemów montażowych.

Trend integrowania wynika z faktu, że pomimo szerokiego spektrum dostępnych na rynku programów komputerowych, wspomagających projektanta systemu montażowego na poszczególnych etapach procesu projektowania, te specjalizowane aplikacje działają niejako osobno, a wymiana danych między nimi jest niewielka. W rezultacie projekt systemu przeprowadzany jest za pomocą kilku osobnych programów oraz metod modelowania i symulacji, dla których sporządzane są różne, często pokrywające się modele [2, 6]. Przyczynia się to do obniżenia jakości wyników projektu oraz wydłużenia czasu jego trwania. Dlatego też integracja narzędzi projektowych jest tutaj jednym z ważniejszych obecnie zagadnień [2, 5, 9, 14, 15]. Ideę integracji poszczególnych modułów programowych przedstawiono na rysunku 8.8.



Rys. 8.8. Idea integracji modułów programowych w jeden system [21]

Dzięki komputerowej integracji projektowania systemów montażowych zwiększana jest wymieniona już skuteczność działania składników systemu. Integracja umożliwia przede wszystkim szybsze projektowanie systemów montażowych dzięki:

- wyeliminowaniu konieczności wykonywania redundantnych modeli tego samego systemu na różnych etapach jego projektowania,
- zapisaniu danych dotyczących projektowanego systemu montażu w bazie danych i ich dostępności dla innych aplikacji w ramach zintegrowanego systemu,
- możliwości korzystania z alternatywnych programów symulacyjnych i wspomagających projektowanie, znanych już wcześniej projektantowi (dzięki uniwersalności zastosowanego formatu zapisu danych oraz odpowiednim interfejsom wymiany danych),
- zunifikowaniu struktury zapisu danych, co zapobiega powstawaniu sprzeczności informacji,
- jasnej ścieżce postępowania przy projektowaniu systemów.

Na uwagę zasługuje obecnie pięć rozwiązań, idących w kierunku integracji.

Koncepcja PPR Hub firmy Delmia oraz eM-Server firmy Tecnomatix

Firmy Delmia oraz Tecnomatix to dwaj najwięksi potentaci na rynku programów symulacyjnych. Obie firmy zwróciły uwagę na konieczność wymiany danych między poszczególnymi modułami programowymi i stworzenia wspólnej, elastycznej bazy danych dla swoich produktów. Firma Delmia korzysta w tym celu z rozwiązania Oracle, na której to aplikacji oparte jest działanie PPR Hub – centralnej bazy danych, za pomocą której możliwa jest wymiana informacji między programami, wspomagającymi projektanta na kolejnych etapach procesu projektowego. Rozwiązanie działa jednak wybiórczo, integrując jedynie wybrane moduły. Do problemów z integracją oprogramowania w ramach metody PPR Hub zaliczyć można między innymi utratę niektórych z wprowadzanych danych oraz możliwe przekłamanie

przy generowaniu struktury systemów montażowych [7]. Najnowsze opracowanie firmy Delmia–Delmia V5, idące w kierunku rozwiązania opisywanych problemów, jest jeszcze w trakcie rozwoju.

Podobnym rozwiązaniem jest pakiet eM-Power, firmy Tecnomatix, także oparty na bazie danych Oracle. Również ono nie daje zadowalających rezultatów. Podkreślić należy również, że obydwa rozwiązania nie spełniają jednego z najważniejszych warunków funkcjonalnego, zintegrowanego systemu do projektowania systemów montażowych – jego otwartości. Strategia obydwu firm zakłada sprzedaż jedynie oprogramowania własnego, i tylko ono może być do danego rozwiązania włączone. Konsekwencją tego jest pozbawienie projektanta swobody w wyborze programów projektowych i symulacyjnych oraz zmuszenie go do korzystania z aplikacji narzuconych przez producenta. Bardzo wysokie ceny oprogramowania ograniczają dostępność rozwiązania, zwłaszcza dla małych i średnich przedsiębiorstw.

Delfoi-Integrator firmy Delfoi

Produkt firmy Delfoi–Delfoi-Integrator jest szeroko rozbudowaną grupą interfejsów, pozwalającą łączyć ze sobą kilka narzędzi projektowych, symulacyjnych oraz modułów obsługujących rzeczywiste urządzenia wykonawcze systemów wytwarzania [16, 17]. Pomimo bardzo wielu zastosowań oraz dużej liczby obsługiwanych formatów danych (wymiana informacji z modułami ERP, MES, PLC, SAP R/3, 9 formatami wymiany z bazami danych) autorom nie udało się wyznaczyć ścieżki projektowania systemów wytwarzania. Aplikacja Delfoi-Integrator spełnia udanie rolę pośredniczącą między systemami symulacji a planowaniem produkcji i sterowania nią. Zaimplementowano także do systemu, z powodzeniem, rozwiązania środowiska Wirtualnej Rzeczywistości.

SiMaS – Uniwersytet Saarland, Niemcy

Rozwiązanie integracji oprogramowania w ramach projektu SiMaS obejmuje stworzenie 4 baz danych, wzajemnie ze sobą powiązanych, oraz systemu zarządzania projektami symulacyjnymi [14]. ProcBASE (procesy biznesowe), SimBASE (logistyka), RobBASE (systemy zrobotyzowane) oraz ErgoBASE (ergonomia stanowisk ręcznych) są bazami danych, zbierającymi wyniki wybranych kroków eksperymentów symulacyjnych. Autorzy nie proponują jednak rozwiązania problemu łączenia etapu projektowania zgrubnej struktury systemu montażowego z programami symulacyjnymi, a opracowane bazy danych pozostają wciąż w fazie koncepcyjnej.

e-Race – Uniwersytet Nottingham, Anglia

Projekt e-Race oraz opracowana w jego ramach metodyka projektowania modułowych systemów montażowych, umożliwi zintegrowane projektowanie oparte na sieci internetowej [18]. Integracja rozumiana jest tutaj jednak jako wspólna platforma wymiany danych między projektantami systemów montażowych, ich użytkownikami oraz producentami komponentów oraz ich elementów składowych. Służyć ma ona wymia-

nie wiedzy oraz szybkiemu przekazywaniu np. zamówień na konkretne podzespoły (moduły) oraz środki montażowe, projektowane wirtualnie przez użytkowników systemu. Autorzy nie proponują rozwiązania problemu integracji oprogramowania do całościowego ujęcia projektowania systemów montażowych.

Literatura

- [1] Lotter B., *Wirtschaftliche Montage*, VDI-Verlag, Düsseldorf 1992.
- [2] Onori M., Barata J., Lastra J., *Assembly Net – Roadmap 2010*, Assembly Net Report, październik 2002.
- [3] Tichem M., *Trends in assembly industry*, Assembly Net Report, Delft, wrzesień 2003.
- [4] Andeen G., *Toward a science of assembly*, Robotics and autonomous systems, Vol. 21, 1997.
- [5] Onori M., *European Assembly – Opportunities or threats?*, IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, Besancon, Francja, marzec 2003.
- [6] Blumenau J., Kotz C., Wuttke C., *Digital Factory vs. Lean Production Applied to Logistics- and Layout-Planning of Production Systems*, 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Budapeszt, Węgry, maj 2004.
- [7] Baer T., Haasis S., Zenner C., *Verschmelzen digitale Prozessplanung und Ablaufsimulation*, CAD-CAM Report, Nr 12, 2002.
- [8] Law M., *Simulation of Manufacturing Systems*, 1998 Winter Simulation Conference, Washington, USA, grudzień 1998.
- [9] CIM-Data, *The benefits of digital manufacturing*, raport firmy CIM-Data, marzec 2003.
- [10] Klingstam P., Gullander P., *Overview of Simulation Tools for Computer-Aided Production Engineering*, Dept. Of Production Engineering, Chalmers University of Technology, Goeteborg, Szwecja.
- [11] Bley H., Wuttke C., *Distributed simulation applied to production systems*, CIRP Annals 1997 – Manufacturing Technology – Vol. 46/1, 361–364, Tianjin, Chiny, 1997.
- [12] Moszczyński J., *Integracja systemów i systemy zintegrowane*, Strategie informatyzacji, Infovide, kwiecień 2000.
- [13] Vernadat F., *Enterprise modeling and integration: principles and applications*, Chapman and Hall, Londyn 1996.
- [14] Bley H., Franke C., Wuttke C., *Solving the information management problem in the digital factory*, 33rd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Sztokholm, Szwecja, 2000.
- [15] Bley H., Weber C., Hirt G., *Progress in Virtual Manufacturing Systems*, 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken, Niemcy, 2003.
- [16] Delfoi – Integrator, broszura reklamowa, firma Delfoi, Helsinki 2001.
- [17] Runde C., Joosten H., Mersinger M., *Intelligent Manufacturing System Project – Linking Virtual Reality to Simulation*, Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation, Stuttgart, Niemcy 2001.
- [18] Lohse N., Ratcev S., Valtchanov G., *Towards Web-Enabled design of modular assembly systems*, Assembly Automation, Vol. 24, Nr. 3, 2004.
- [19] Kagan R., Ciupek M., Koch T., Seliger G., *Design of virtual remanufacturing facility for cellular phones by applying the lean approach*, Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, Berlin, Niemcy, wrzesień 2004.
- [20] Kagan R., Kernbaum S., Rahman A.A.A., *Automatic generation of Simulation Models of Assembly, Disassembly and Reassembly Systems*, Simulation and Visualization Conference 2005, Magdeburg, Niemcy, marzec 2005.
- [21] Koch T., Kagan R., *Komputerowo zintegrowane projektowanie systemów montażowych*, Wyd. ser. niepublik.: Raporty Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, Seria SPR nr 1/2005.



BIBLIOTEKA GŁÓWNA

324445L|1

W książce skupiono się na montażach w wariantach. Poruszono najpierw dwa aspekty związane z montażem: projektowanie wyrobów i ich technologiczność ich konstrukcji oraz ekonomicznie uzasadnione dobieranie systemu montażowego spośród poszczególnych opcji i poziomów/rodzajów automatyzacji. Omówiono wiele aspektów zrobotyzowanych stanowisk montażowych, takich jak roboty montażowe, ich oprzyrządowanie oraz wyposażenie zrobotyzowanych stanowisk montażowych. Przedstawiono montażowe systemy transportowe i ich dobór. Opisano także zagadnienia komputerowego wspomaganie projektowania systemów montażowych.



Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej
są do nabycia w księgarni
„Tech”
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
budynek A-1 PWr., tel. (0-71) 321 32 52
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową

ISBN 83-7085-940-2