ROBOTY W SYSTEMACH WYTWARZANIA

Opracował: dr hab. inż. Adam Rogowski

Autor wykładu:

dr hab. inż. Adam Rogowski
pok. ST 405
adam.rogowski@pw.edu.pl

Literatura:

- **Treść niniejszego wykładu dostępna na stronach internetowych:**
  https://www.zaios.pw.edu.pl/zaios-site/pl/dydaktyka
  albo:
  www.cim.pw.edu.pl/lzp
- **J. Honczarenko: Elastyczna automatyzacja wytwarzania, WNT, 2000**
- **J. Honczarenko: Roboty przemysłowe. Budowa i zastosowanie, WNT, 2004**

Treść wykładu:

- Wprowadzenie do elastycznej automatyzacji wytwarzania: istota elastyczności wytwarzania, przesłanki rozwoju i efekty automatyzacji i robotyzacji wytwarzania, współczesne poglądy na elastyczną automatyzację i robotyzację wytwarzania.
- Sterowanie robotów. Zadania układów sterowania i ich klasyfikacja. Budowa sterownika PLC, NC, PAC. Sterowanie osiami i urządzeniami peryferyjnymi. Panele sterujące. Metody komunikacji ze sterownikami. Systemy nadzorowania robotów.
- Napędy (elektryczne, pneumatyczne, hydrauliczne) – rodzaje i obszary zastosowań, budowa i struktura napędu. Regulatory. Dokładność i powtarzalność pozycjonowania.
- Układy sensoryczne w robotyce, określanie stanu robota, pomiary położenia i przemieszczenia (enkodery, liniały), pomiar prędkości. Stosowane czujniki siły, momentu, temperatury. Magistrale danych pomiarowych.
- Wizyjna identyfikacja przedmiotów, sonary, skanery laserowe, tworzenie map otoczenia.
- Kalibracja systemu wizyjnego robota przemysłowego
- Podstawy budowy zrobotyzowanych systemów wytwarzania: formy organizacji produkcji (struktury skoncentrowane, gniazdowe, liniowe, z centralnym magazynem przedmiotów, oraz ich odmiany), strategie organizacji produkcji.

Treść wykładu – c.d.:

- Ogólna struktura zrobotyzowanego systemu wytwarzania, koncepcje zastosowania robotów w systemach wytwarzania, kryteria podatności stanowisk na robotyzację.
- Modelowanie zrobotyzowanych systemów wytwarzania.
- Robotyzacja stanowisk spawalniczych. Metody korekcji trajektorii.
- Robotyzacja stanowisk elektrycznego zgrzewania oporowego.
- Zrobotyzowane stanowiska spawania i cięcia laserowego oraz cięcia plazmowego.
- Zrobotyzowane stanowiska manipulacji i paletyzacji.
- Zrobotyzowane stanowiska obróbkowe: autonomiczne stacje obróbkowe, elastyczne gniazda obróbkowe, elastyczne linie obróbkowe, elastyczne systemy obróbkowe. Organizacja zrobotyzowanych systemów obróbkowych, przykładowe konfiguracje i struktury sterowania zrobotyzowanych gniazd obróbkowych, programy sterujące gniazdami zrobotyzowanymi.
- Robotyzacja stanowisk montażowych, konfiguracja montażowych stanowisk zrobotyzowanych.
- Bezpieczeństwo na zrobotyzowanych stanowiskach pracy.
- Roboty współpracujące, ich specyfika i zastosowanie.

Metody i kryteria oceniania:

- Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest ocena co najmniej 3.0 zarówno z egzaminu jak i z laboratorium. Ocena końcowa wystawiana jest wówczas w następujący sposób na podstawie średniej arytmetycznej z tych ocen:

  3,00 – 3,25 >>> 3,0

  3,26 – 3,75 >>> 3,5

  3,76 – 4,25 >>> 4,0

  4,26 – 4,75 >>> 4,5

  4,76 i więcej >>> 5,0
- Przy zaliczeniu jednej części składowej przedmiotu (W lub L), można przepisać tę ocenę na rok następny tylko dla ocen min. 3.5.
- Wykład składa się z dwóch części, za które są odpowiedzialni osobni prowadzący. Dlatego również egzamin składa się z dwóch części. Warunkiem zaliczenia egzaminu jest otrzymanie oceny co najmniej 3.0 z każdej części. Z powyższym zastrzeżeniem, ocena z egzaminu jest wystawiana na podstawie średniej arytmetycznej ocen otrzymanych za każdą część według schematu podanego powyżej.

Metody i kryteria oceniania – c.d.:

- Uczestnictwo w danej części egzaminu w kolejnym terminie wiąże się z anulowaniem oceny otrzymanej z tej części w terminie poprzednim.
- Zajęcia laboratoryjne składają się z dwóch części, realizowanych w oddzielnych pomieszczeniach laboratoryjnych.
- Każda część zajęć laboratoryjnych składa się z kilku ćwiczeń. Za każde ćwiczenie otrzymuje się jedną ocenę cząstkową. Nieusprawiedliwiona nieobecność oznacza wystawienie oceny cząstkowej 0. W przypadku nieobecności usprawiedliwionej (zwolnienie lekarskie) dane ćwiczenie nie jest brane pod uwagę przy obliczaniu oceny końcowej. Nieobecność na 6 i więcej godzinach lekcyjnych oznacza niezaliczenie laboratorium. Z powyższym zastrzeżeniem, ocena z każdej części laboratorium jest średnią arytmetyczną z ocen cząstkowych.
- Ocena końcowa z laboratorium jest średnią arytmetyczną z ocen otrzymanych za każdą część.

Zalety automatyzacji i robotyzacji

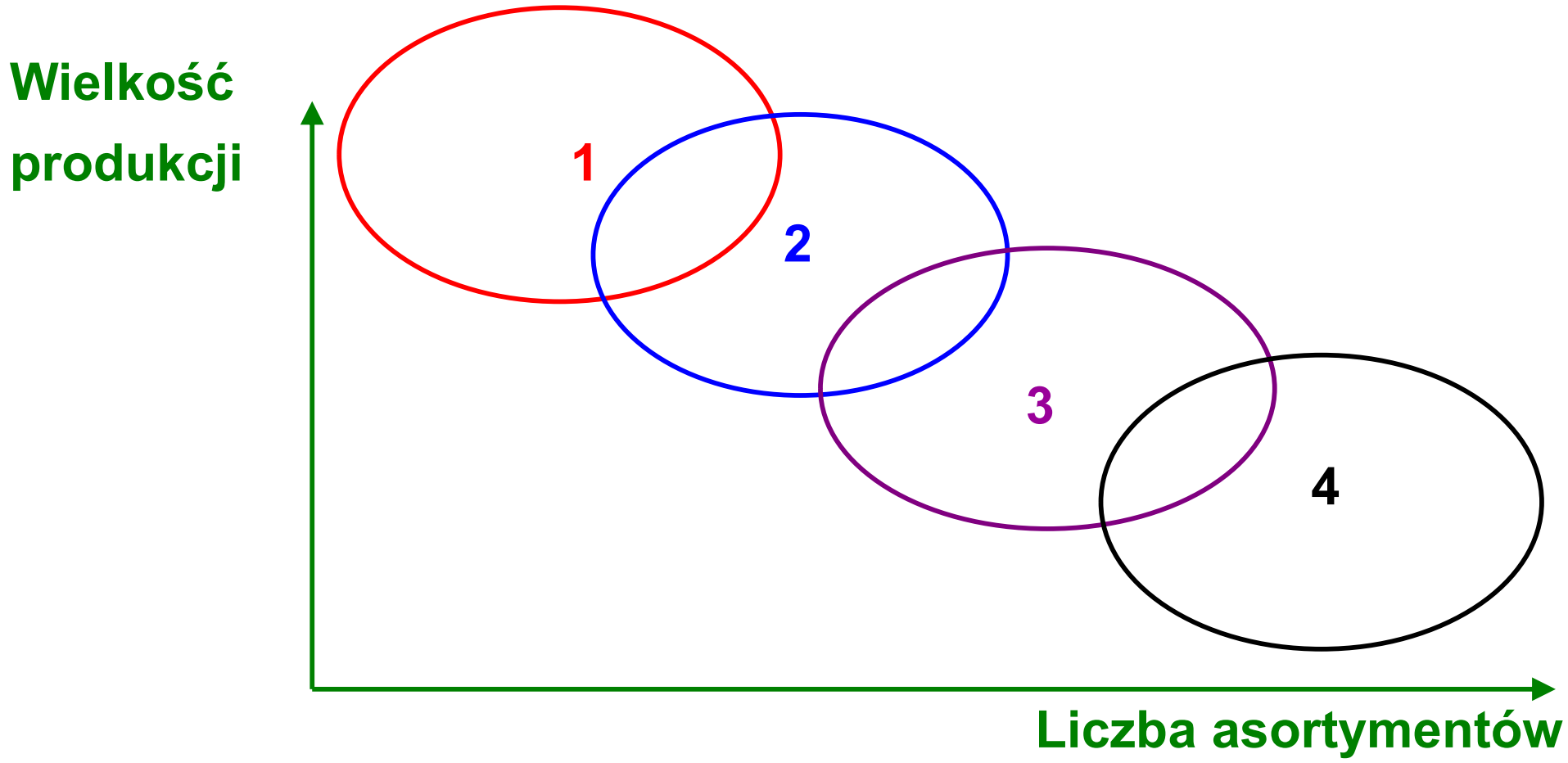
- **Polepszenie jakości i stałości jakości produktów**
- **Zwiększenie wydajności (koncentracja zabiegów)**
- **Większe wykorzystanie funduszu czasu pracy maszyn (II i III zmiana, dni wolne od pracy)**
- **Ograniczenie liczebności personelu**
- **Poprawa warunków pracy (wyeliminowanie prac uciążliwych i szkodliwych)**
- **Zmniejszenie kosztów produkcji**

Ryzyka związane z automatyzacją i robotyzacją

- **Niższa jakość i wysokie koszty produkcji w przypadku zbyt niskiego stopnia automatyzacji**
- **Nakłady na zbyt wysoki stopień automatyzacji mogą się nie zwrócić w przypadku, gdy źle zostanie oszacowana wielkość rynku**
- **Nakłady na automatyzację mogą się nie zwrócić w przypadku niespodziewanych zmian na rynku (produkt przestaje się sprzedawać)**

Formy zautomatyzowanej produkcji

1. Zautomatyzowane linie produkcyjne
2. Obrabiarki CNC i centra obróbkowe
3. Elastyczne gniazda/systemy produkcyjne
4. Obrabiarki konwencjonalne



Automatyzacja elastyczna

- Łatwe i szybkie przezbrojenie i szybka zmiana programów pracy środków wytwarzania w celu dostosowania do zmiennych zadań produkcyjnych, przy zachowaniu wysokiej wydajności np. realizacja kilku procesów technologicznych równolegle z możliwością wprowadzania nowych procesów w czasie trwania produkcji
- Zastosowanie głównie w produkcji małoseryjnej (liczne asortymenty)

Środki elastycznej automatyzacji:

- obrabiarki CNC
- centra obróbkowe (skoncentrowana forma produkcji)
- roboty przemysłowe
- autonomiczne stacje obróbkowe…

W przypadku kompleksowej automatyzacji elastycznej zachodzi konieczność zapewnienia współpracy (wzajemnej synchronizacji) zautomatyzowanych środków produkcji poprzez komunikację pomiędzy ich układami sterowania.

Znaczenia elastyczności wytwarzania

- **Elastyczność wyboru różnych przedmiotów obrabianych jednocześnie (*mix flexibility*)**
- **Możliwość dodania nowego przedmiotu (nowego procesu technologicznego) w czasie trwania produkcji, a także możność wycofania produkcji określonego przedmiotu, bez wpływu na prawidłowy przebieg produkcji pozostałych przedmiotów (*parts flexibility*)**
- **Elastyczność marszruty technologicznej (*routing flexibility*)**
- **Możliwość szybkiego uwzględnienia zmian w konstrukcji wytwarzanego przedmiotu (*design change flexibility*)**
- **Możność zmiany wielkości produkcji (*volume flexibility*)**
- **Możność wytwarzania przedmiotów w różnych systemach wytwarzania w ramach danej fabryki (*customing flexibility*)**

Przyczyny wprowadzania elastycznej automatyzacji

- Wzrost konkurencji
- Konieczność dostosowania asortymentów do życzeń odbiorców
- Zmieniający się popyt na wyroby
- Krótsze cykle życia wyrobów

Przesłanki rozwoju elastycznej automatyzacji

Związane z przedsiębiorstwem:

- Zróżnicowanie asortymentu wyrobów
- Wielowariantowość odmian/typów wyrobów
- Krótkie terminy realizacji zamówień
- Mniejsze serie produkcyjne
- Częste unowocześnianie wyrobów

Związane z procesem wytwarzania:

- Potrzeba pełniejszego wykorzystania maszyn i urządzeń
- Zmniejszenie zapasów materiałów wejściowych i wyrobów w toku
- Konieczność skrócenia czasu wytwarzania wyrobów
- Konieczność łatwego i szybkiego przezbrajania maszyn
- Humanizacja pracy

Etapy wprowadzania automatyzacji czynności pomocniczych (przykład)

1. Obróbka bez oprzyrządowania (obrabiarki NC z obsługą operatorską i dowolnym systemem mocowania przedmiotów)
2. Etap standaryzacji uchwytów i oprawek
3. Etap organizacji (ustawianie przedmiotów poza obrabiarką)
4. Automatyzacja podstawowa (automatyczne dostarczanie na stanowisko pracy przedmiotów na paletach, ładowanie ręczne)
5. Automatyzacja standardowa (podawanie przedmiotów i narzędzi przez manipulator)
6. Automatyzacja elastyczna (podawanie narzędzi i przedmiotów przez robota przemysłowego)

Efekty automatyzacji czynności pomocniczych (przykład)

	Czas nieprodukcyjny [godz./rok]	Nastawy, przygotowanie [godz./rok]	Czas efektywny [godz./rok]
Bez oprzyrządow.	6960	1000	800
Standaryzacja	6960	600	1200
Organizacja	6960	200	1600
Automatyzacja	3960	800	4000
Autom. elastyczna	1960	800	6000

Efekty automatyzacji czynności pomocniczych (przykład – c.d.)

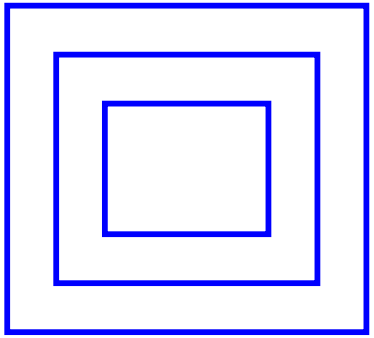
	Koszty roboczogodziny [%]	Terminy realizacji zleceń [tygodnie]
Bez oprzyrządowania	100	2
Standaryzacja	84	1,7
Organizacja	77	1,4
Autom. podstawowa	55	0,9
Autom. standardowa	40	0,6
Autom. elastyczna	33	0,3

Kalibracja systemu wizyjnego robota

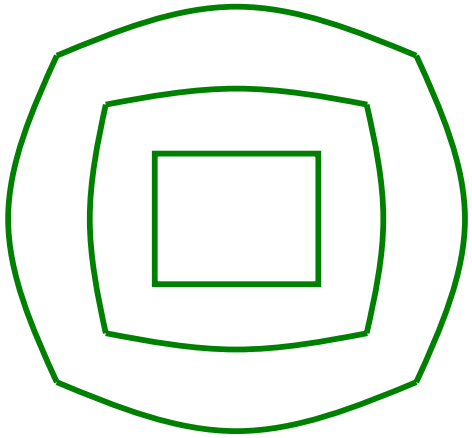
Przyczyny niezgodności opisu obrazu obiektu z opisem rzeczywistego obiektu:

- **Linii prostej na obiekcie z reguły nie odpowiada linia prosta na obrazie, przy czym zniekształcenie to zazwyczaj nie jest stałe na całym obszarze obrazu**

Obiekt:



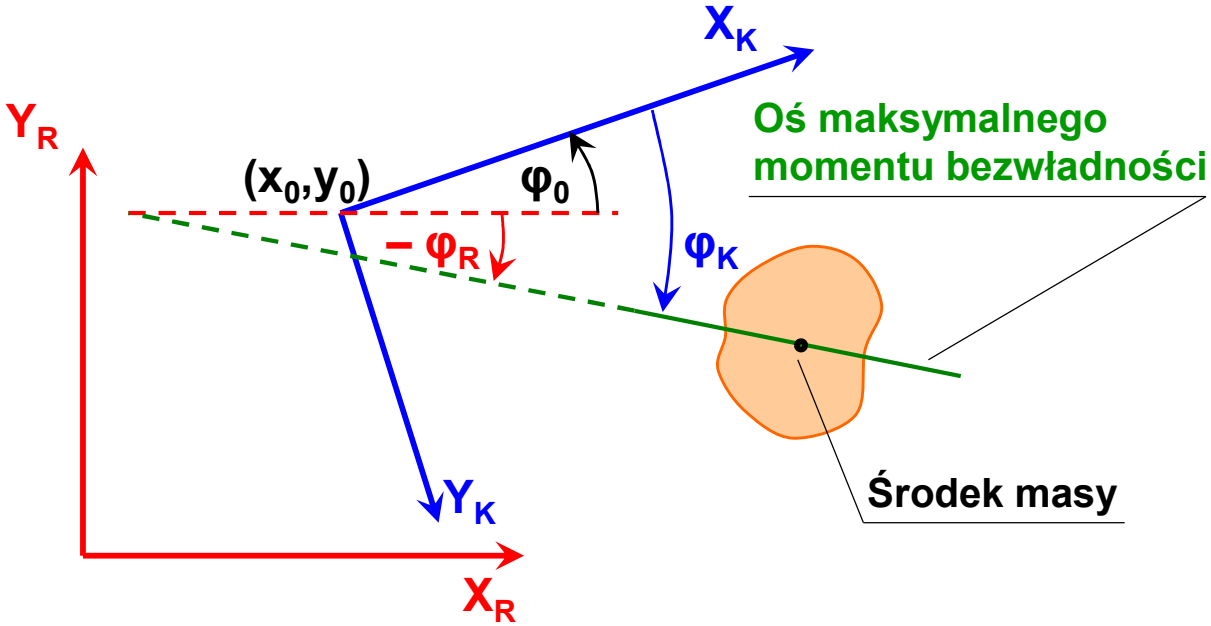
Obraz:



- **Odległości na obrazie (zazwyczaj podawane w pikselach) nie odpowiadają odległościom rzeczywistym (podawanym np. w milimetrach), przy czym skala może nie być stała na całym obszarze rysunku**
- **Początek układu współrzędnych obrazu i początek układu współrzędnych robota z reguły nie pokrywają się**
- **Układy współrzędnych rysunku i robota zazwyczaj nie mają jednakowej orientacji**
- **Często się zdarza, że jeden z tych układów jest prawoskrętny, a drugi lewoskrętny**

Kalibracja systemu wizyjnego robota – c.d.

Pomijając zniekształcenia linii prostej i zakładając, że wartość skali ma swoje ekstremalne i stałe wartości wzdłuż osi X i Y kamery, można otrzymać proste zależności parametrów opisujących położenie obiektu w układzie współrzędnych robota od parametrów opisujących położenie jego obrazu w układzie współrzędnych kamery.



$$x_R = x_0 + s_x \cdot x_K \cdot \cos\varphi_0 + s_y \cdot y_K \cdot \sin\varphi_0$$

$$y_R = y_0 + s_x \cdot x_K \cdot \sin\varphi_0 - s_y \cdot y_K \cdot \cos\varphi_0$$

$$\varphi_R = \varphi_0 - \arctan\left(\tan(\varphi_K) \cdot s_y / s_x\right)$$

$X_K Y_K$ – układ współrzędnych kamery

$X_R Y_R$ – układ współrzędnych robota

(x_0,y_0) – początek układu współrzędnych kamery w układzie robota (w mm)

(x_K,y_K) – środek masy obrazu obiektu w układzie kamery (w pikselach)

(x_R,y_R) – środek masy zarysu obiektu w układzie robota (w mm)

φ_K – orientacja obrazu obiektu w układzie współrzędnych kamery

φ_R – orientacja obiektu w układzie współrzędnych robota

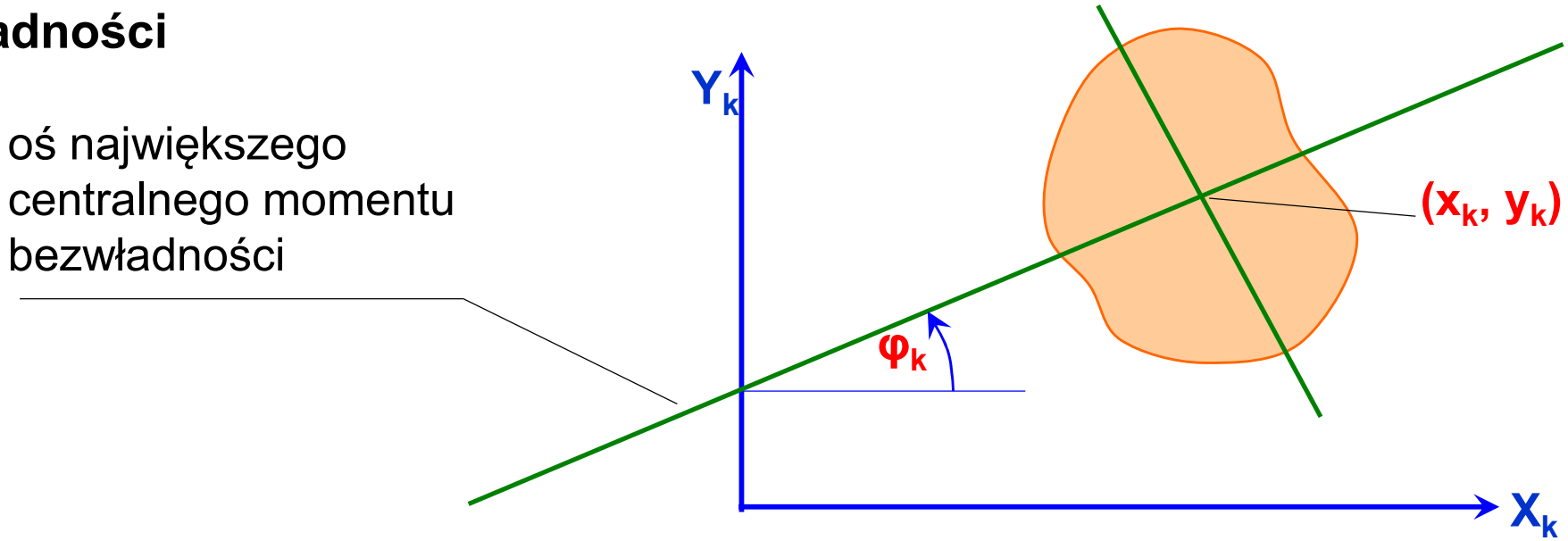
φ_0 – kąt między osią X robota i kamery

s_x , s_y – współczynniki skalowania (mm/piksel) w osi X i w osi Y kamery

Określenie położenia kątowego

Parametry określające położenie obiektu:

- **współrzędne x_k , y_k środka masy obiektu**
- **kąt φ_k pomiędzy osią X a osią maksymalnego centralnego momentu bezwładności**



Kąt φ_k można obliczyć ze wzoru:

$$\mathrm{tg}\, 2\varphi_k = \frac{-2 \cdot I_{XY}}{I_X - I_Y}$$

gdzie: I_X **– centralny moment bezwładności względem osi równoległej do X**
I_Y **– centralny moment bezwładności względem osi równoległej do Y**
I_{XY} **– centralny moment dewiacji względem osi równoległych do X i Y**

Kalibracja systemu wizyjnego robota – c.d.

Kalibracja oznacza w tym przypadku wyznaczenie współczynnika skalowania oraz wartości determinujących wzajemne położenie układów współrzędnych robota i kamery:

$$\boxed{s_x \quad s_y \quad \varphi_0 \quad x_0 \quad y_0}$$

Określenie współczynników skalowania s_x i s_y:

- **Umieścić w polu widzenia kamery jakiś obiekt tak, aby jego krawędzie były w przybliżeniu równoległe do osi X lub osi Y kamery**
- **Zmierzyć rzeczywistą długość odcinka równoległego do osi X lub osi Y kamery np. długość pewnej krawędzi l_1 (mm)**
- **Znaleźć na obrazie punkty odpowiadające końcom tego odcinka i określić ich wzajemną odległość w pikselach l_2**
- **Podzielić przez siebie te wartości: $s = l_1 / l_2$**

Określenie kąta między osią X układu kamery i osią X układu robota φ_0:

- **Zmierzyć kąt φ_1 pomiędzy osią X układu robota a którąś z krawędzi obiektu**
- **Znaleźć na obrazie punkty odpowiadające końcom tej krawędzi (x_1,y_1) i (x_2,y_2)**
- **Obliczyć $\varphi_0 = \varphi_1 + \arctan2\left((y_2 - y_1)\cdot s_y , (x_2 - x_1)\cdot s_x \right)$**

Kalibracja systemu wizyjnego robota – c.d.

Obliczenie współrzędnych x_0 , y_0 punktu początku układu współrzędnych kamery w układzie współrzędnych robota:

- **Określić współrzędne x_3 , y_3 dowolnego charakterystycznego punktu obiektu w układzie współrzędnych robota**
- **Na obrazie odczytać współrzędne x_4 , y_4 odpowiednika tego punktu**
- **Obliczyć szukane współrzędne x_0 , y_0 według wzorów:**

$$x_0 = x_3 - s_x \cdot x_4 \cdot \cos\varphi_0 - s_y \cdot y_4 \cdot \sin\varphi_0$$

$$y_0 = y_3 - s_x \cdot x_4 \cdot \sin\varphi_0 + s_y \cdot y_4 \cdot \cos\varphi_0$$

Uruchom wirtualną kamerę

Obraz z kamery

Obiekt w układzie współrzędnych robota

Formy organizacji produkcji

Rozważając zagadnienia związane z zastosowaniem robotów w systemach wytwarzania, trzeba uwzględnić pojęcie struktury systemu wytwarzania.

Struktura systemu wytwarzania – sieć powiązań pomiędzy elementami systemu, związanych z przepływem strumieni materiałowo-energetycznych i informacyjnych.

Rozmieszczenie urządzeń wchodzących w skład systemu wytwarzania jest zdeterminowane głównie przez przepływ obrabianych przedmiotów (bądź nośników przedmiotów). Przepływ ten jest uzależniony od:

- **marszruty technologicznej**
- **stopnia integracji systemu wytwarzania**

Integracja systemów wytwarzania polega na scaleniu funkcji (integracja funkcjonalna) i urządzeń (integracja techniczna) niezbędnych do poprawnej realizacji podstawowych procesów wytwarzania.

Centra obróbkowe przykładem integracji funkcjonalnej (koncentracja różnych metod obróbki i funkcji jak obróbka, wymiana narzędzi itd) oraz technicznej.

Formy organizacji produkcji – c.d.

Rozróżnia się następujące formy organizacji systemów wytwarzania:

- **struktury skoncentrowane**
- **struktury gniazdowe**
- **struktury liniowe**
- **struktury z centralnym magazynem przedmiotów**

Skoncentrowana forma organizacji produkcji

Wszystkie operacje potrzebne do wytworzenia wyrobu są skoncentrowane na jednym stanowisku pracy (np. montaż samolotów).

W przypadku systemu obróbkowego o skoncentrowanej formie organizacji produkcji, przepływ strumienia materiałów obejmuje:

- **dostawę półfabrykatów z magazynu zewnętrznego,**
- **magazynowanie półfabrykatów w magazynach buforowych,**
- **podanie i mocowanie półfabrykatu na stanowisku obróbkowym,**
- **obróbkę,**
- **zabranie obrobionej części ze stanowiska obróbkowego,**
- **magazynowanie części przy stanowisku,**
- **transport części do centralnego magazynu lub do montażu.**

Koncentracja i automatyzacja tych funkcji → ASO (Autonomiczna Stacja Obróbkowa)

Gniazdowa forma organizacji produkcji

Przesłanki stosowania gniazdowej organizacji produkcji:

- **Produkcja realizowana na wielu stanowiskach (np. wielostopniowa obróbka przedmiotów)**
- **W systemie może być produkowanych jednocześnie wiele różnych wyrobów**
- **Wytwarzane wyroby wykazują pewne podobieństwo marszruty technologicznej.**

Rezultat: nieukierunkowany (pomijanie stanowisk, nawroty) oraz dwuwymiarowy przepływ strumienia materiałów.

Klasyfikacja gniazd ze względu na rodzaje stanowisk:

- **Stanowiska specjalizowane (wymagana znaczna niezawodność)**
- **Stanowiska technologicznie zamienne (np. centra obróbkowe)**

Gniazdowa forma organizacji produkcji – c.d.

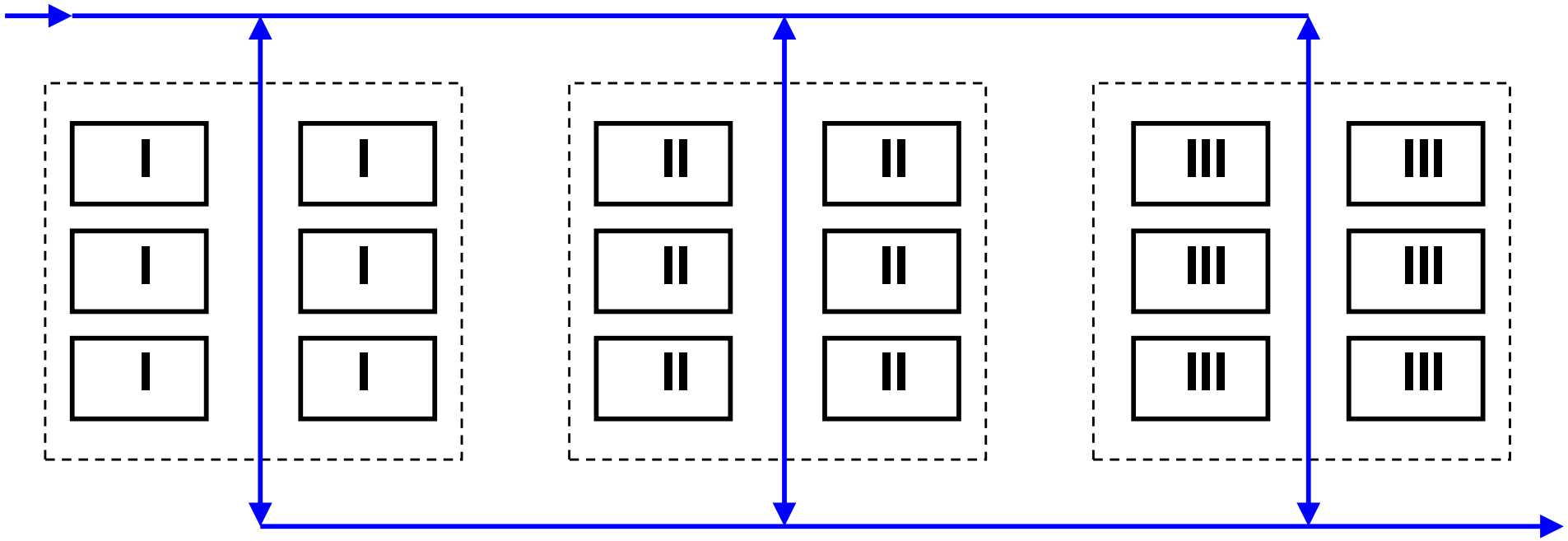
Możliwe typy rozmieszczenia stanowisk:

- **funkcjonalny**
- **modułowy**
- **komórkowy**
- **specjalizowany technologicznie**

Funkcjonalne rozmieszczenie stanowisk

Zgrupowanie stanowisk według rodzajów obróbki (np. toczenie, wiercenie, frezowanie itd.).

Przedmioty są transportowane między stanowiskami różnych grup, które mogą być rozmieszczone względem siebie w różny sposób.



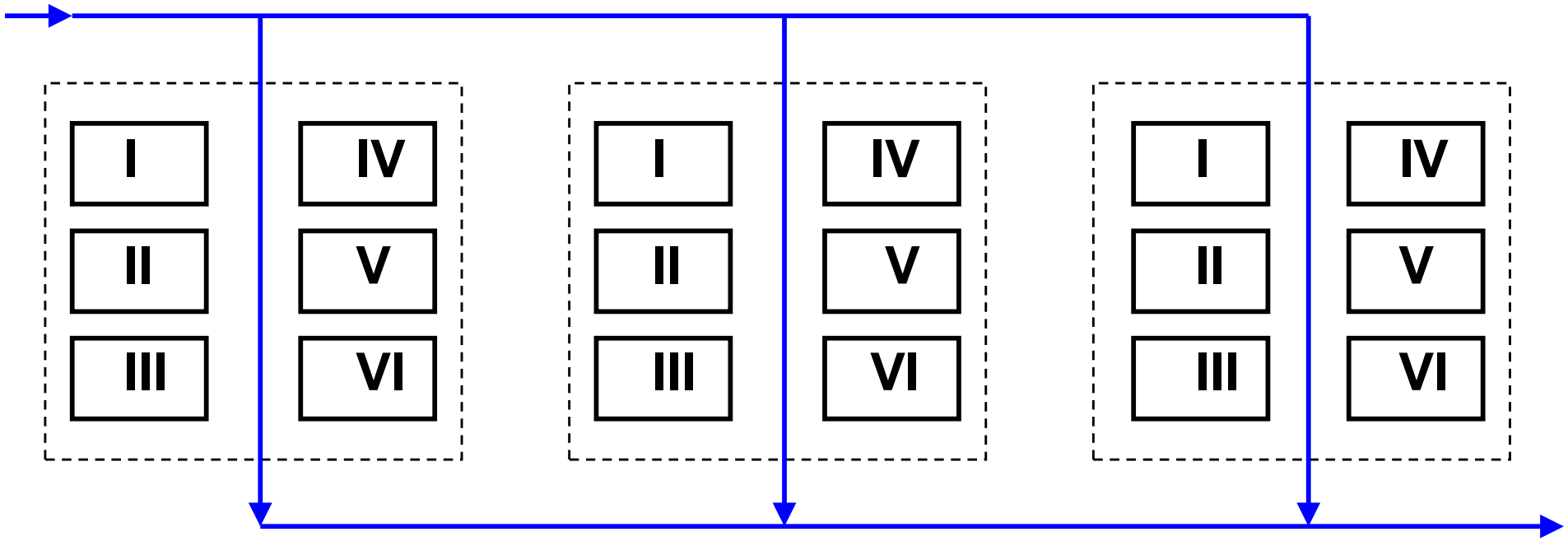
I,II,III – stanowiska realizujące różne rodzaje obróbki

→ – transport przedmiotów

Modułowe rozmieszczenie stanowisk

Identyczne moduły (np. grupy obrabiarek) mogą realizować ten sam zakres prac.

Modułowe rozmieszczenie stanowisk zapewnia odporność systemu na zakłócenia.



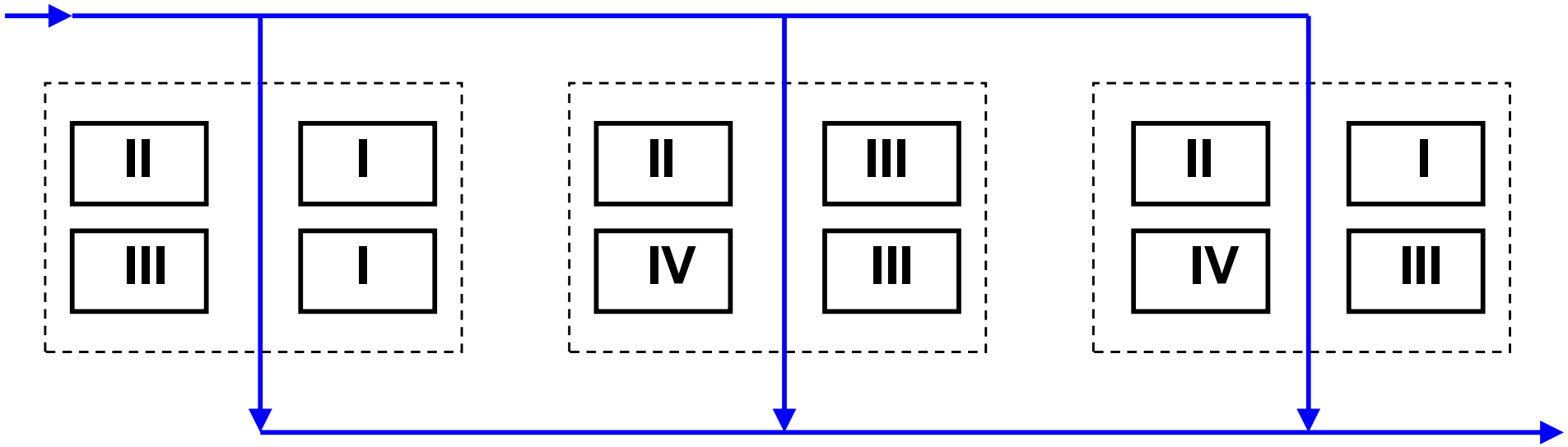
I,II,III,IV,V,VI – obrabiarki realizujące różne operacje obróbkowe

→ – transport przedmiotów

Komórkowe rozmieszczenie stanowisk

Rozmieszczenie komórkowe charakteryzuje się utworzeniem wydzielonych grup stanowisk, przy czym:

każda z tych grup jest przeznaczona do obróbki określonego asortymentu przedmiotów

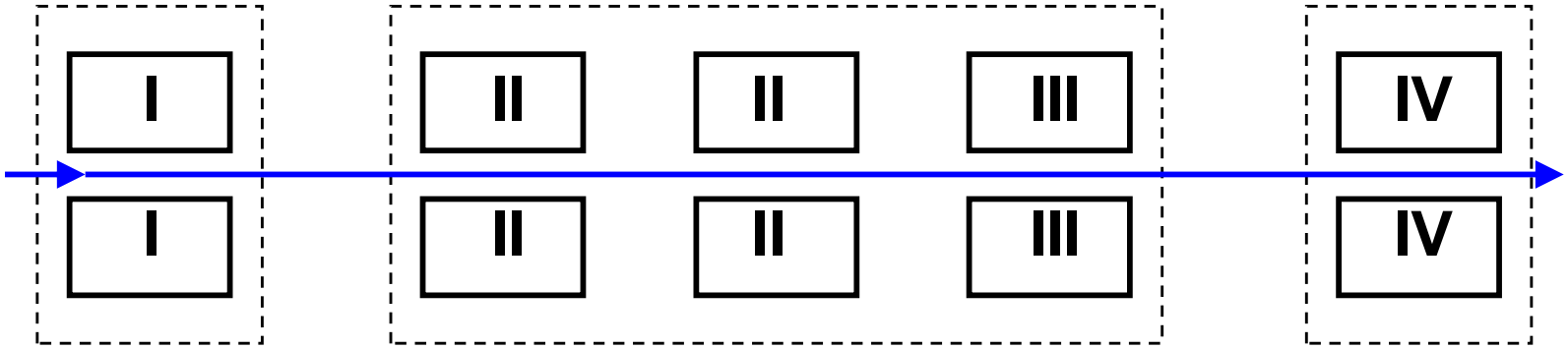


I,II,III,IV – obrabiarki realizujące różne rodzaje obróbki

→ – transport przedmiotów

Rozmieszczenie stanowisk specjalizowane technologicznie

Rozmieszczenie specjalizowane technologicznie (według faz procesu technologicznego) jest stosowane w przypadku dużego, podlegającego częstym zmianom asortymentu wyrobów. Stanowiska grupuje się według podobieństwa technologiczno-organizacyjnego.



I,II,III,IV – obrabiarki realizujące różne rodzaje obróbki

→ – transport przedmiotów

Rozmieszczenie stanowisk specjalizowane technologicznie – c.d.

Technologiczna forma organizacji produkcji:

- **jest stosowana przy wytwarzaniu wyrobów złożonych,**
- **jest stosowana głównie przy produkcji małoseryjnej,**
- **umożliwia jednoczesne wytwarzanie różnorodnego zestawu wyrobów podobnych technologicznie,**
- **zapewnia dużą elastyczność systemu i odporność na zakłócenia.**

Przykład: elastyczne gniazda obróbkowe (FMC – flexible manufacturing cells).

W elastycznych gniazdach obróbkowych pojedyncze roboty są często wykorzystywane do obsługi dwóch lub trzech obrabiarek.

Liniowa forma organizacji produkcji

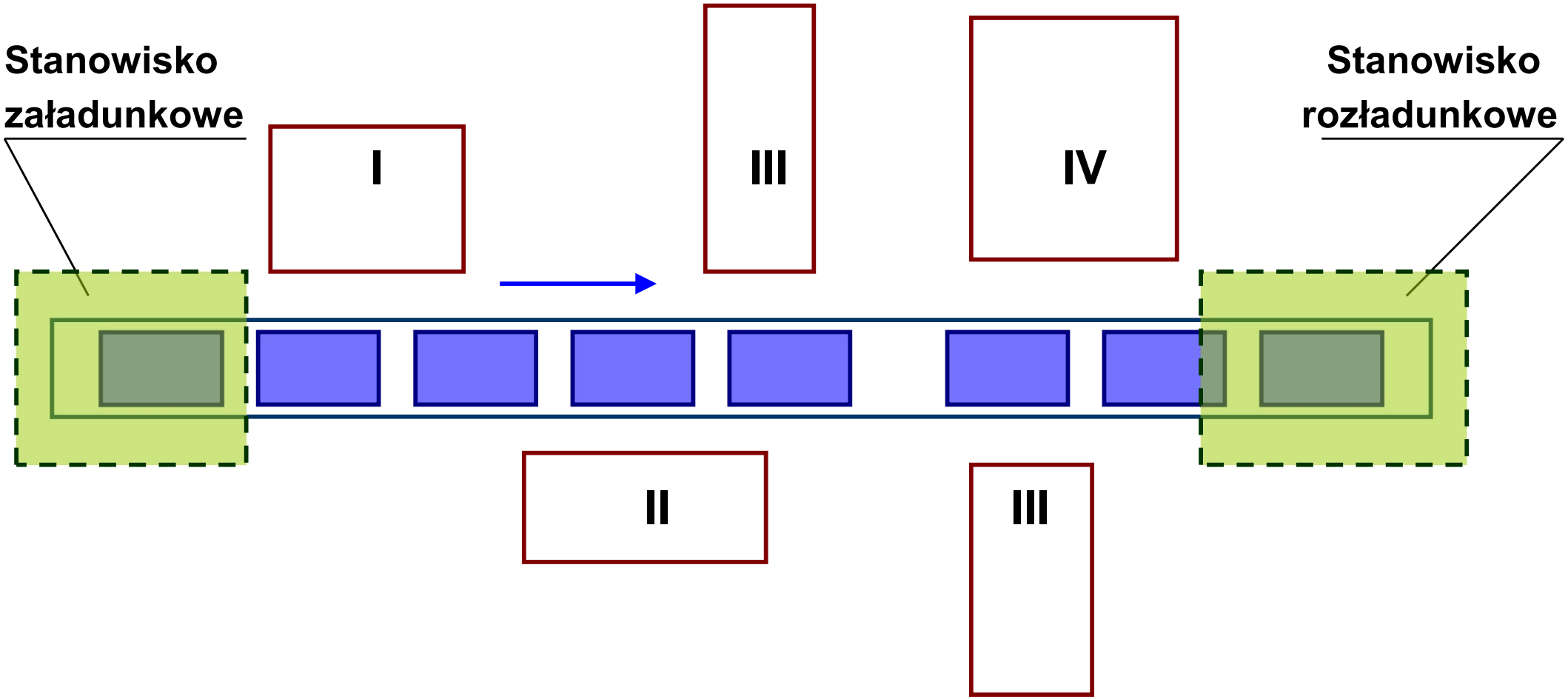
Liniowa forma organizacji produkcji odpowiada przedmiotowej specjalizacji systemu wytwarzania. Cechy charakterystyczne:

- **Podobieństwo wyrobów pod względem operacji technologicznych i ich kolejności**
- **Rozmieszczenie stanowisk zgodne z kolejnością operacji**
- **Jednokierunkowy przepływ strumienia materiałów, bezpośrednio pomiędzy kolejnymi stanowiskami**
- **Stosowanie specjalizowanych maszyn technologicznych (zazwyczaj)**
- **Stały takt linii dla danej partii wyrobów**
- **Stosowanie magazynów kompensacyjnych (często)**

Rodzaje linii produkcyjnych

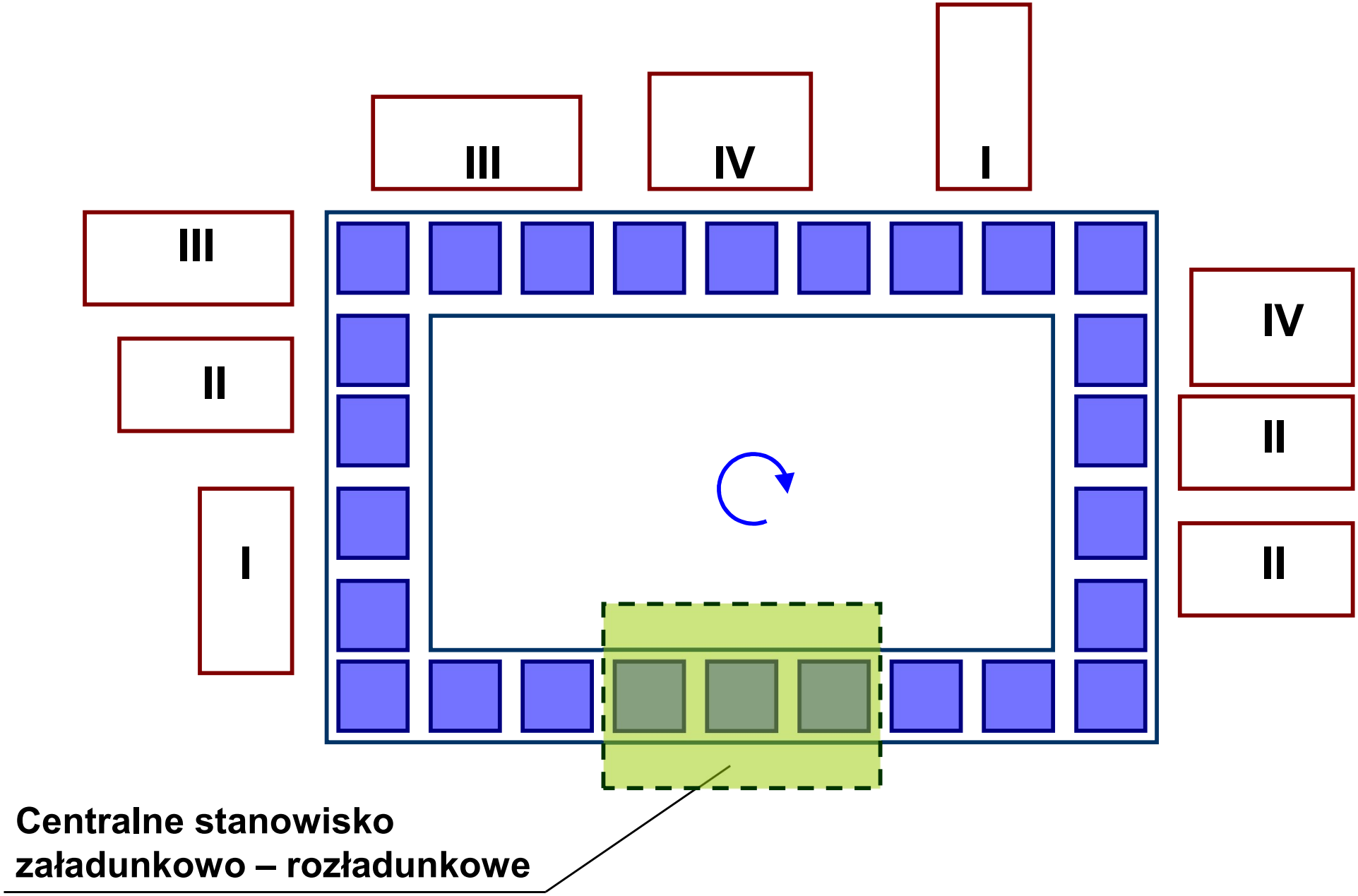
- **Jednorzędowe z wydzielonymi stacjami załadunku i rozładunku**
- **Liniowo – kołowe z centralną stacją załadunkowo – rozładunkową**
- **Segmentowe z magazynami kompensacyjnymi**

Linie produkcyjne jednorzędowe

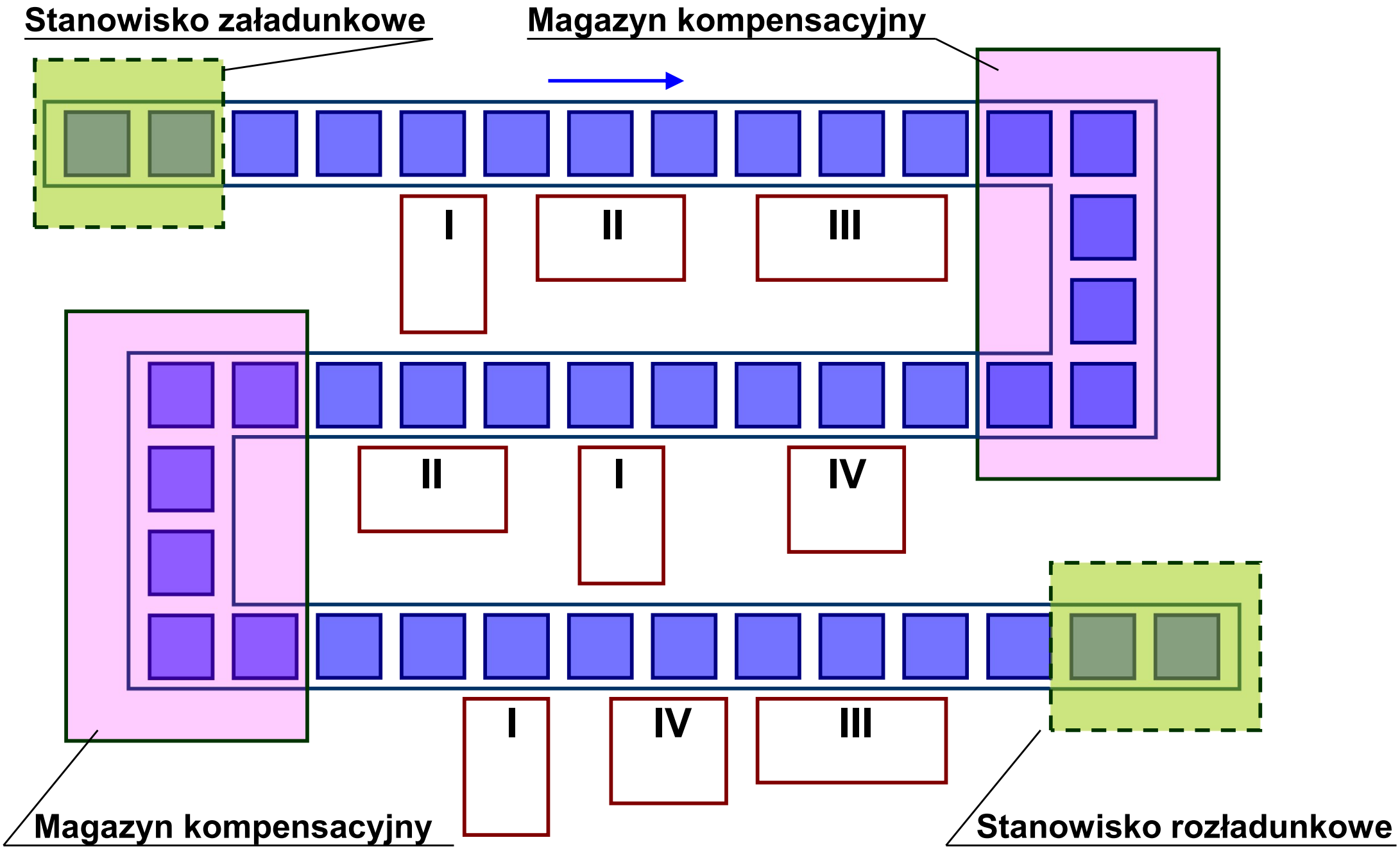


I,II,III,IV – obrabiarki realizujące różne rodzaje obróbki

Linie produkcyjne liniowo – kołowe



Linie produkcyjne segmentowe



Elastyczność linii produkcyjnych

Elastyczność linii produkcyjnych można uzyskać poprzez:

- **łatwość przezbrojenia dla różnych partii wyrobów**
- **łatwość programowania przebiegu pracy**
- **możliwość rozbudowy linii przy zachowaniu istniejących stanowisk i dróg przepływu materiałów**

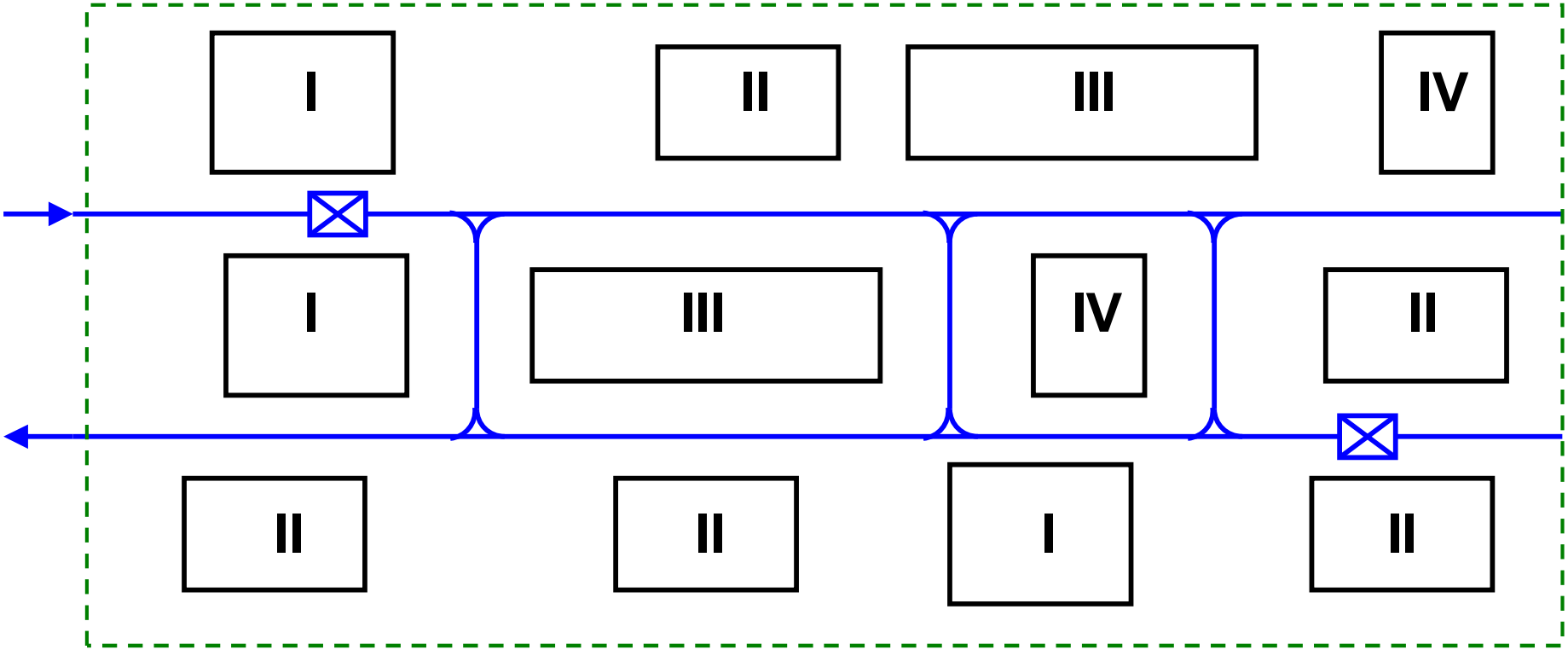
Podsystem transportu w liniach produkcyjnych

Warianty powiązania stanowisk roboczych z podsystemem transportu:

- **Przedmioty dostarczane bezpośrednio przez podsystem transportu do przestrzeni roboczej stanowisk**
- **Podsystem transportu dostarcza przedmioty do magazynu buforowego, skąd są podawane na stanowisko**
- **Przedmioty są podawane ze środka transportu do przestrzeni roboczej stanowiska za pomocą urządzenia manipulacyjnego np. robota lub zmieniacza palet**

Systemy wytwarzania z centralnym magazynem produkcyjnym

W ramach takich systemów wytwarzania, stanowiska robocze są ze sobą powiązane w sposób pośredni: przez centralny magazyn



– środki transportu

I,II,III,IV – obrabiarki

Systemy wytwarzania z centralnym magazynem produkcyjnym – c.d.

Zaleta tej formy organizacji produkcji:

- **Brak bezpośredniego powiązania transportowego stanowisk (uproszczenie przepływu strumienia materiałów)**
- **Niezależność przepływu od kolejności obróbki przedmiotów**

Wada tej formy organizacji produkcji:

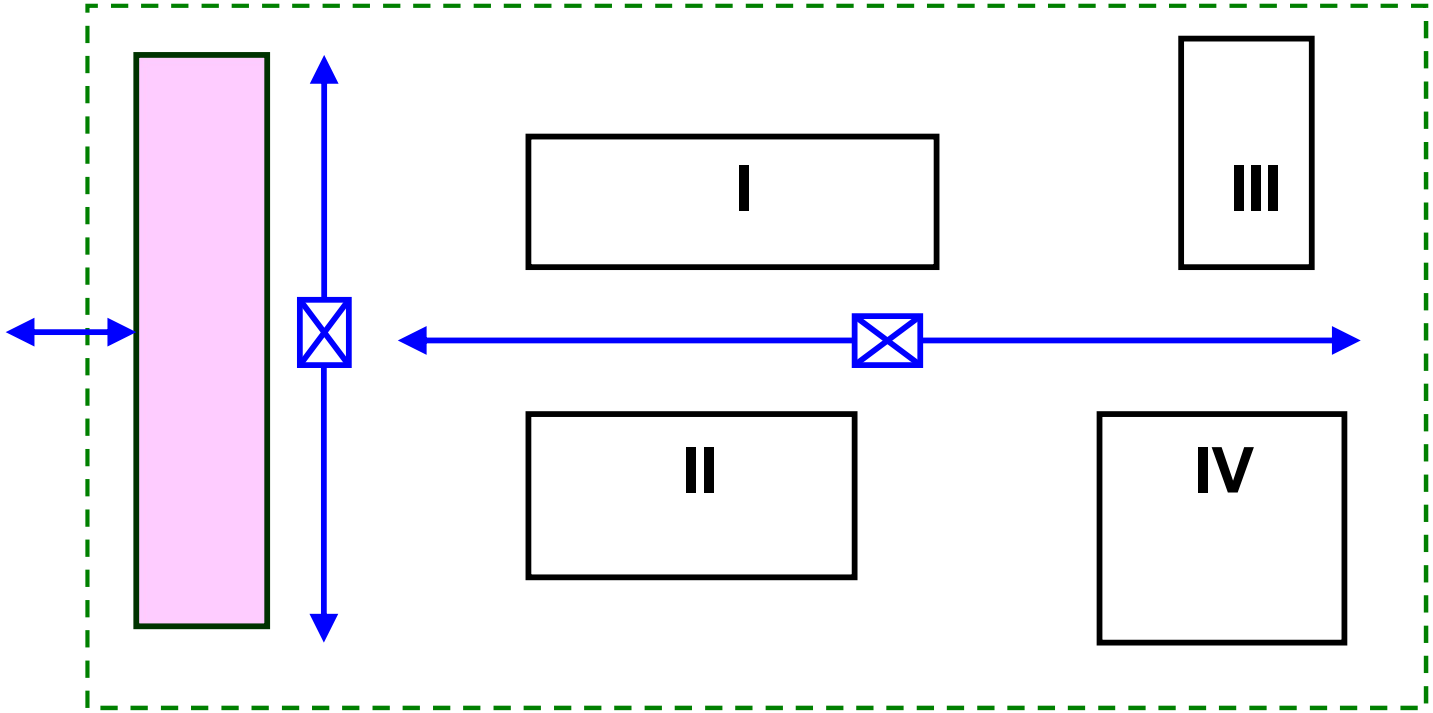
- **Skomplikowanie i wydłużenie dróg transportowych (przy większej liczbie stanowisk)**

Systemy wytwarzania z centralnym magazynem produkcyjnym – c.d.

Warianty centralnego magazynu produkcyjnego:

- **statyczny zewnętrzny**
- **statyczny wewnętrzny**
- **dynamiczny zewnętrzny**
- **dynamiczny wewnętrzny**

System wytwarzania z magazynem statycznym zewnętrznym



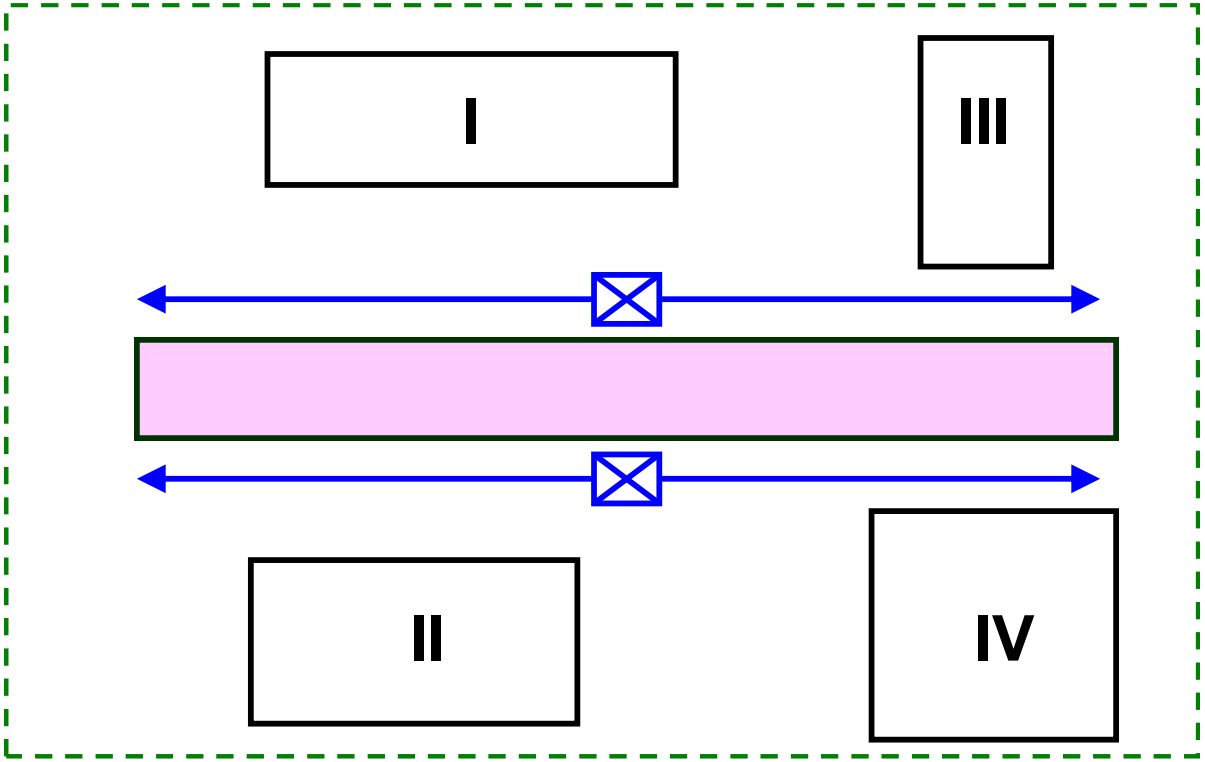
– środki transportu

I,II,III,IV – obrabiarki

System wytwarzania z magazynem statycznym zewnętrznym – c.d.

- **Rozdział zadań jest wykonywany przez jeden fragment magazynu (stację załadunku/rozładunku) – zatem jest to system z punktowym rozdziałem zadań**
- **Wielkość magazynu jest niezależna od konfiguracji systemu produkcyjnego**

System wytwarzania z magazynem statycznym wewnętrznym



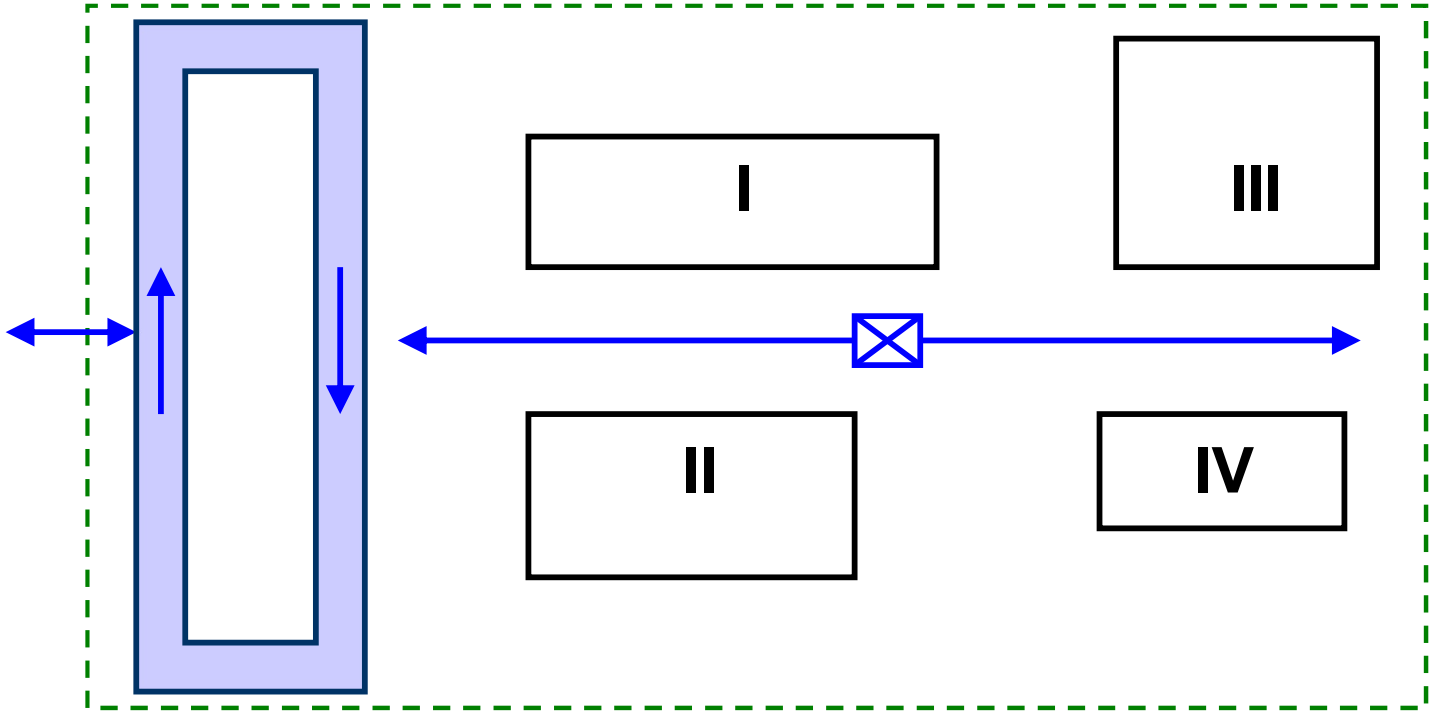
– środki transportu

I,II,III,IV – obrabiarki

System wytwarzania z magazynem statycznym wewnętrznym – c.d.

- **Funkcje transportu i magazynowania są nierozdzielne**
- **Magazyn stanowi regał wysokiego składowania**
- **Nie jest możliwe określenie zadań transportowych w sposób analityczny (położenie palety w magazynie po zakończeniu danej operacji obróbkowej / montażowej jest losowe)**
- **Rozmieszczenie stanowisk roboczych wokół magazynu wpływa na długość dróg transportowych układarki regałowej i na stopień jej obciążenia**

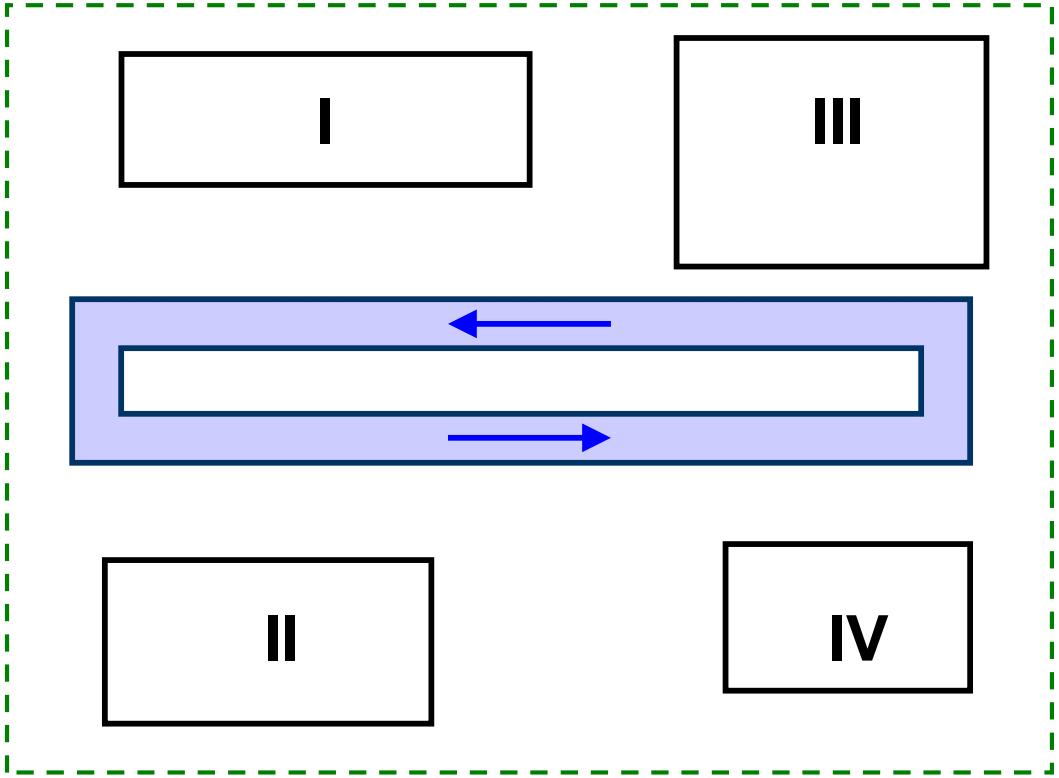
System wytwarzania z magazynem dynamicznym zewnętrznym



– środek transportu

I,II,III,IV – obrabiarki

System wytwarzania z magazynem dynamicznym wewnętrznym



I,II,III,IV – obrabiarki

Systemy wytwarzania z magazynem dynamicznym – cechy charakterystyczne

- Są to systemy z liniowym rozdziałem zadań. Magazyn dynamiczny stanowi zazwyczaj przenośnik (podwieszany lub podłogowy)
- Ze względu na małą pojemność magazynu, systemy te są stosowane w przypadku długich czasów produkcji
- Ze względu na ograniczony dostęp do wyrobów, systemy te są stosowane w przypadku dużego podobieństwa marszrut technologicznych
- W przypadku systemów z magazynem dynamicznym zewnętrznym, konieczne jest wyodrębnienie podsystemu transportu, łączącego magazyn ze stanowiskami

Przykład systemu wytwarzania obsługiwanego przez robota

Pokaz wideo

https://www.youtube.com/watch?v=xglALqtKGAc (4-117)

Strategie organizacji produkcji

Realizacja zlecenia produkcyjnego jest określona przez:

- **czas (termin realizacji),**
- **koszt,**
- **zdolności produkcyjne stojące do dyspozycji.**

Strategia 1:

- **Określony jest nieprzekraczalny termin realizacji oraz określone są zdolności produkcyjne**
- **Krótkoterminowe zwiększenie własnych zdolności produkcyjnych lub wykorzystanie obcych prowadzi do wzrostu kosztów**
- **Strategia stosowana głównie w produkcji jednostkowej i małoseryjnej realizowanej na zlecenie**
- **Realizowana za pomocą pojedynczych maszyn konwencjonalnych lub w pełni zautomatyzowanych elastycznych systemów wytwarzania**

Strategie organizacji produkcji – c.d.

Strategia 2:

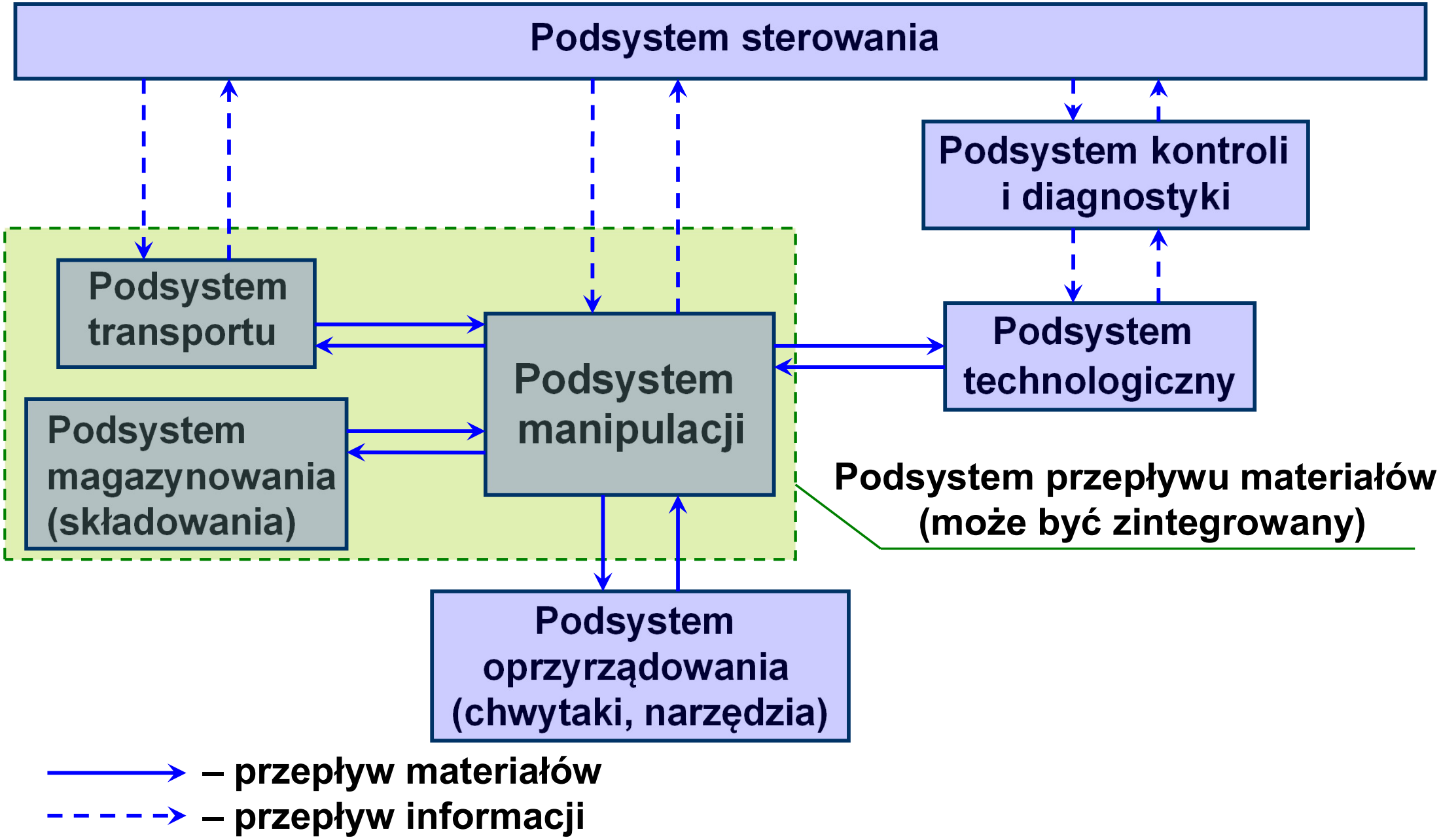
- **Stałe zdolności produkcyjne, założone stałe koszty**
- **Przewiduje się ewentualne przesunięcie terminów (które może dotyczyć wielu zleceń)**
- **Ewentualne wahania zapotrzebowania wyrównuje się za pomocą zapasów magazynowych**
- **Strategia stosowana głównie w produkcji masowej**

Strategie organizacji produkcji – c.d.

Strategia 3:

- **Określony termin i założone stałe koszty.**
- **Istnieje możliwość krótkotrwałego uruchomienia rezerw zdolności produkcyjnych, które nie prowadzi do wzrostu kosztów (źródłem rezerw mogą być zapasy, bądź niewykorzystane moce stanowisk roboczych)**
- **Strategia stosowana przy powtarzalnej produkcji, realizowanej na indywidualne zlecenie klienta**

Struktura zrobotyzowanego systemu wytwarzania



Koncepcje zastosowania robotów w systemach wytwarzania

- **Zastępowanie pracownika (człowieka) przez robota na stanowisku pracy, bez wprowadzania istotnych zmian w technologii i organizacji pracy (przeważanie wykorzystuje się w tym celu roboty o tzw. strukturze antropoidalnej)**

Robot zastępuje człowieka na istniejącym stanowisku

https://www.youtube.com/watch?v=2SLmVlfwtnU

- **Usprawnienie działania systemu wytwarzania poprzez opracowanie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych dotyczących robota oraz urządzeń z nim współpracujących**

Roboty zintegrowane z systemem wytwarzania

https://www.youtube.com/watch?v=ArxzMqf3aZg **(13-182)**

Kryteria podatności stanowisk na robotyzację

- **Możliwość zapewnienia niezawodności produkcji zrobotyzowanej**
- **Konieczność wprowadzenia zmian w środkach produkcji**
- **Konieczność wprowadzenia zmian w konstrukcji wyrobu**
- **Konieczność wprowadzenia zmian w technologii wyrobu**
- **Konieczność wprowadzenia skomplikowanego cyklu automatycznego**

Fazy projektowania zrobotyzowanych systemów wytwarzania

- Rozpoznanie i ustalanie zadania projektowego
- Opracowanie założeń projektowo – konstrukcyjnych
- Opracowanie projektu konstrukcyjnego systemu (konfiguracji)
- Opracowanie technologii wytwarzania wyrobów
- Opracowanie projektu technicznego
- Wykonanie i badanie prototypu

Projektowanie zrobotyzowanych stanowisk obróbkowych

Zazwyczaj sprowadza się ono do optymalnej kompozycji podsystemów przepływu wyrobów.

Należy wziąć pod uwagę czynności realizowane na stanowisku podczas transportowania i manipulowania przedmiotami:

- **Podanie przedmiotu (lub palety) w strefę pracy robota**
- **Uchwycenie przedmiotu i zdjęcie z elementów bazowych palety (lub uchwycenie narzędzia)**
- **Przemieszczenie przedmiotu (lub narzędzia) w strefę roboczą stanowiska**
- **Umieszczenie przedmiotu w uchwycie (lub wykonanie operacji technologicznej takiej jak spawanie lub zgrzewanie)**
- **Wykonanie w odwrotnej kolejności czynności przeciwnych do wyżej wymienionych.**

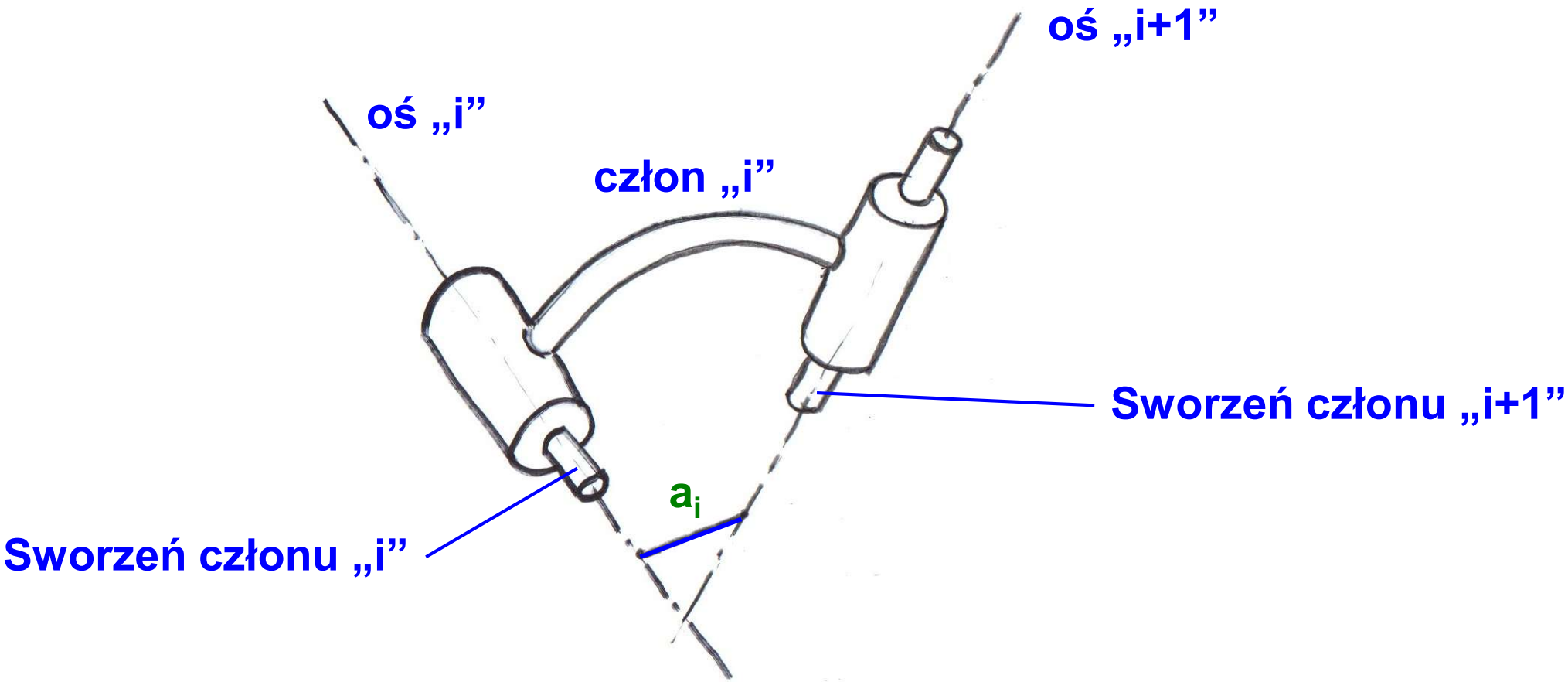
Można utworzyć wiele wariantów modeli strukturalnych systemu zrobotyzowanego, co wiąże się ze zróżnicowaniem konstrukcji robotów i magazynów przystanowiskowych.

Modelowanie zrobotyzowanych systemów wytwarzania

Notacja Denavita-Hartenberga

Założenie: robot posiada tylko przeguby rotacyjne i translacyjne

Geometria pojedynczego członu „i” robota jednoznacznie determinuje wzajemne położenie osi „i” oraz „i+1” jego przegubów:

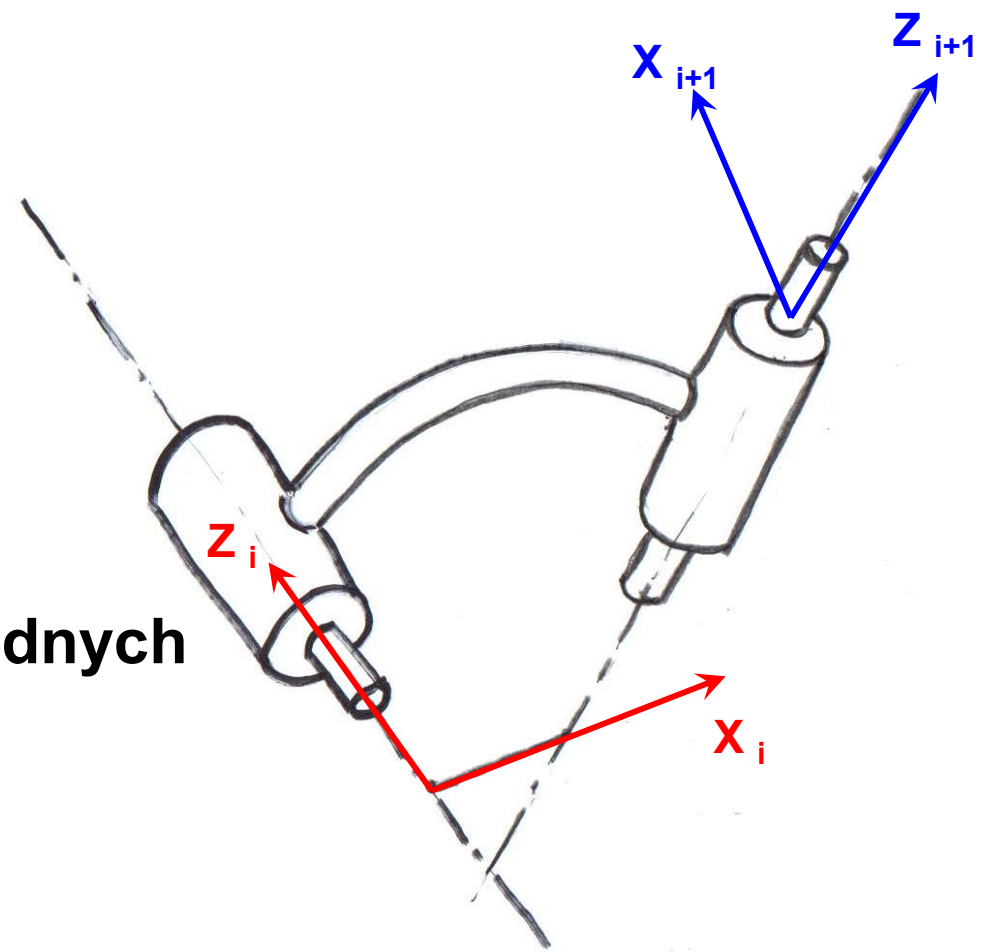


a_i – odległość między osiami „i” oraz „i+1” (odcinek o długości a_i jest prostopadły zarówno do osi „i” jak też osi „i+1”)

Notacja Denavita-Hartenberga – c.d.

Każdemu członowi przypisany jest układ współrzędnych $X_iY_iZ_i$ zgodnie z następującymi zasadami:

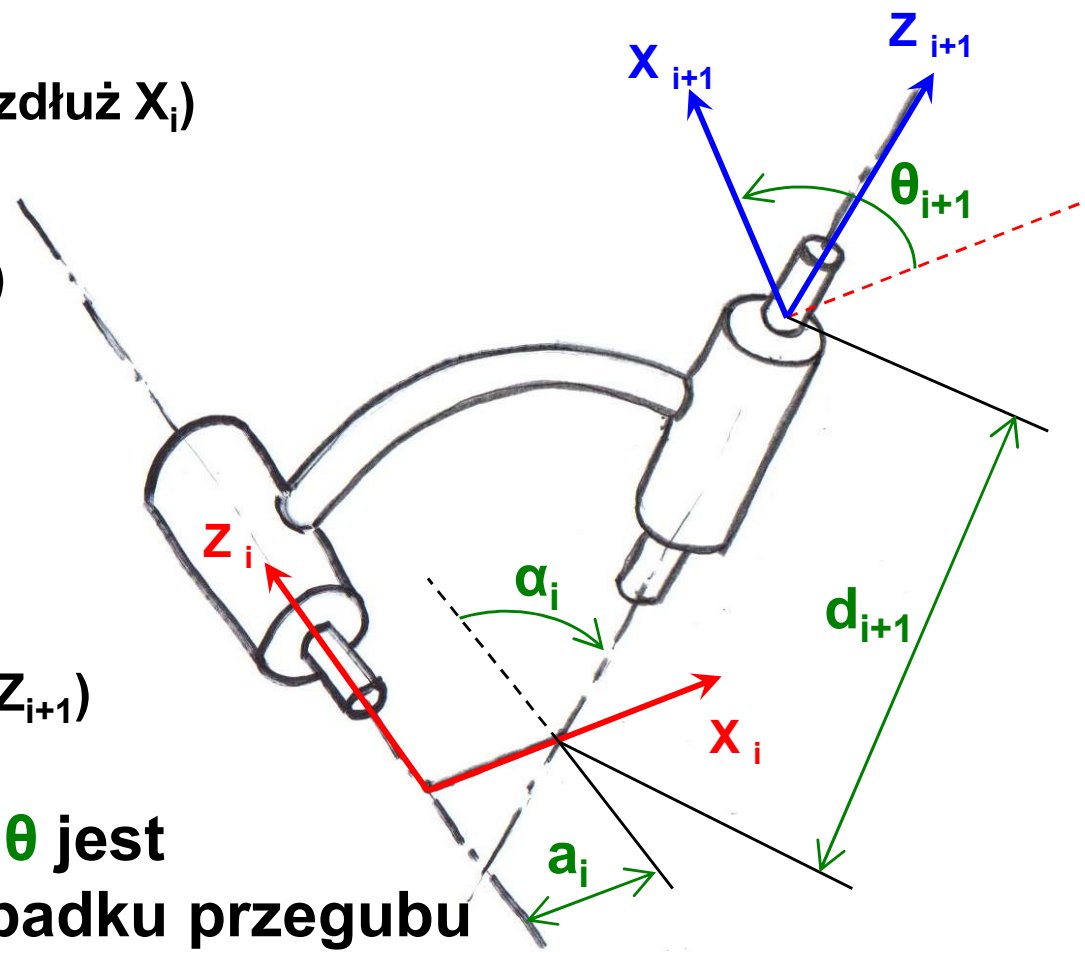
- **Oś Z_i pokrywa się z osią przegubu „i”**
- **Oś X_i pokrywa się z najkrótszym odcinkiem prostej łączącym osie „i” oraz „i+1” (tym, wzdłuż którego oblicza się odległość a_i)**
- **Położenie osi Y_i determinuje się na podstawie faktu, że układ współrzędnych $X_iY_iZ_i$ jest układem prawoskrętnym**



Notacja Denavita-Hartenberga – c.d.

Położenie członu „i+1” względem członu „i” jest opisane za pomocą parametrów Denavita-Hartenberga:

- **a_i – długość członu „i”**
  (odległość między Z_i i Z_{i+1} mierzona wzdłuż X_i)
- **α_i – kąt skręcenia członu „i”**
  (kąt między Z_i i Z_{i+1} mierzony wokół X_i)
- **d_{i+1} – odsunięcie członu „i+1”**
  (odległość między X_i i X_{i+1} mierzona wzdłuż Z_{i+1})
- **θ_{i+1} – kąt konfiguracji członów**
  (kąt między X_i i X_{i+1} mierzony wokół Z_{i+1})



W przypadku przegubu obrotowego θ jest zmienną konfiguracyjną, zaś w przypadku przegubu translacyjnego zmienną konfiguracyjną jest d. Pozostałe parametry Denavita-Hartenberga dla danego członu są stałymi wartościami.

Notacja Denavita-Hartenberga – c.d.

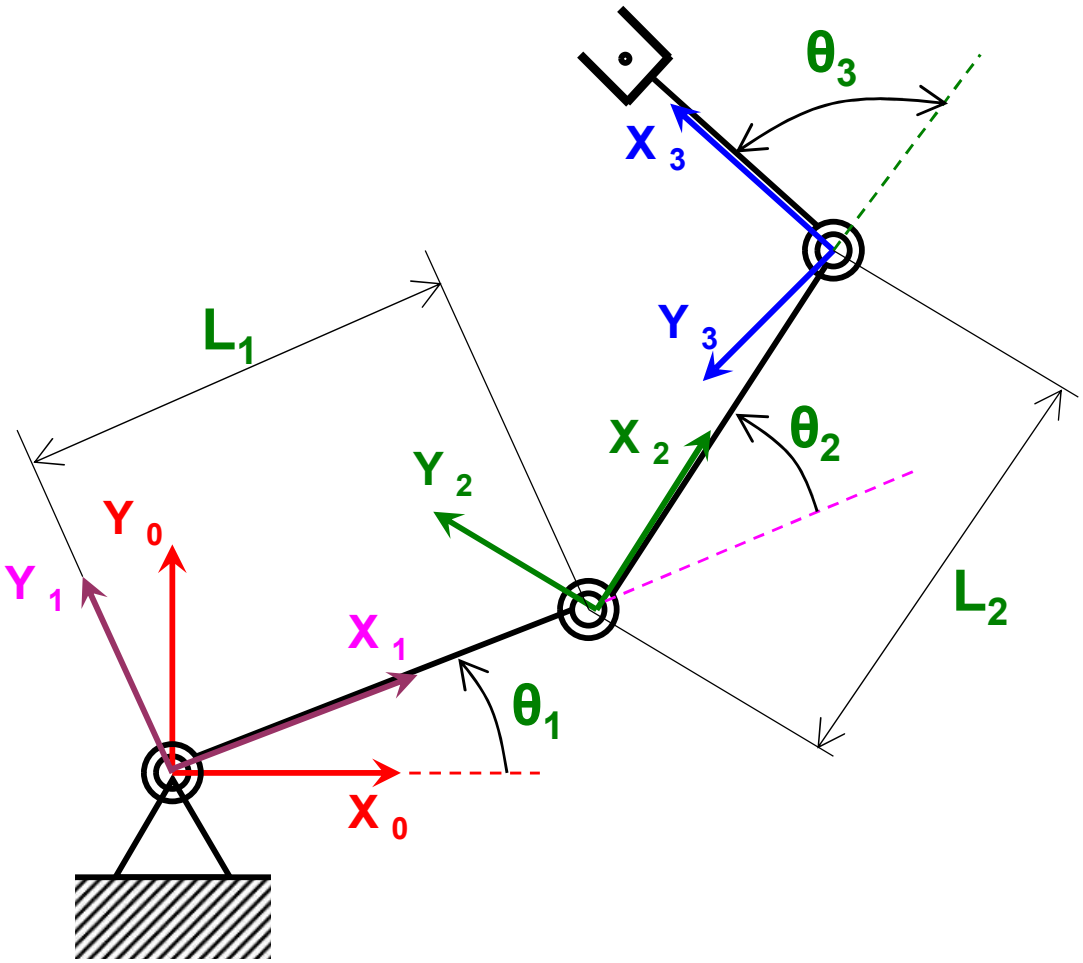
Dla pierwszego połączenia ruchowego w łańcuchu (nieruchoma podstawa, czyli człon „0”, oraz człon „1”) zazwyczaj przyjmuje się:

- Dla pary przesuwnej: $a_0 = 0 \quad \alpha_0 = 0^o \quad \theta_1 = 0^o$

- Dla pary obrotowej: $a_0 = 0 \quad \alpha_0 = 0^o \quad d_1 = 0$

Położenie układu współrzędnych „1” zazwyczaj pokrywa się z położeniem układu „0” dla zerowej wartości zmiennej konfiguracyjnej układu „1”

Notacja Denavita-Hartenberga – przykład



i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0º	0	0	θ_1
2	0º	L_1	0	θ_2
3	0º	L_2	0	θ_3

Zmienne konfiguracyjne oznaczono kolorem czerwonym

Zasady opisu kinematyki robota w systemie modelowania

Powiązania kinematyczne pomiędzy członami opisuje się w procedurze o nazwie „kinematics”. Powiązanie członu z członem bezpośrednio go poprzedzającym w łańcuchu kinematycznym opisywane jest za pomocą instrukcji NEXT JOINT, mającej postać:

NEXT JOINT (<Nazwa członu dołączanego> ,<Nazwa członu odniesienia>)

Po instrukcji NEXT JOINT następuje zapis parametrów Denavita-Hartenberga opisujących położenie układu współrzędnych członu dołączanego w stosunku do układu współrzędnych członu odniesienia:

DH NOTATION (a, α, d, θ)

Zmienną konfiguracyjną określa się za pomocą specjalnej funkcji t()

Zasady opisu kinematyki robota w systemie modelowania – c.d.

Przykład:

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0º	0	0	θ_1
2	0º	L_1	0	θ_2
3	0º	L_2	0	θ_3

```
PROCEDURE KINEMATICS
NEXT JOINT (RAMIE1, BASE)
DH NOTATION (0, 0, 0, t() )
NEXT JOINT (RAMIE2, RAMIE1)
DH NOTATION ( L1, 0, 0, t() )
NEXT JOINT (RAMIE3, RAMIE2)
DH NOTATION ( L2, 0, 0, t() )
ENDPROC
```

Zasady opisu kinematyki robota w systemie modelowania – c.d.

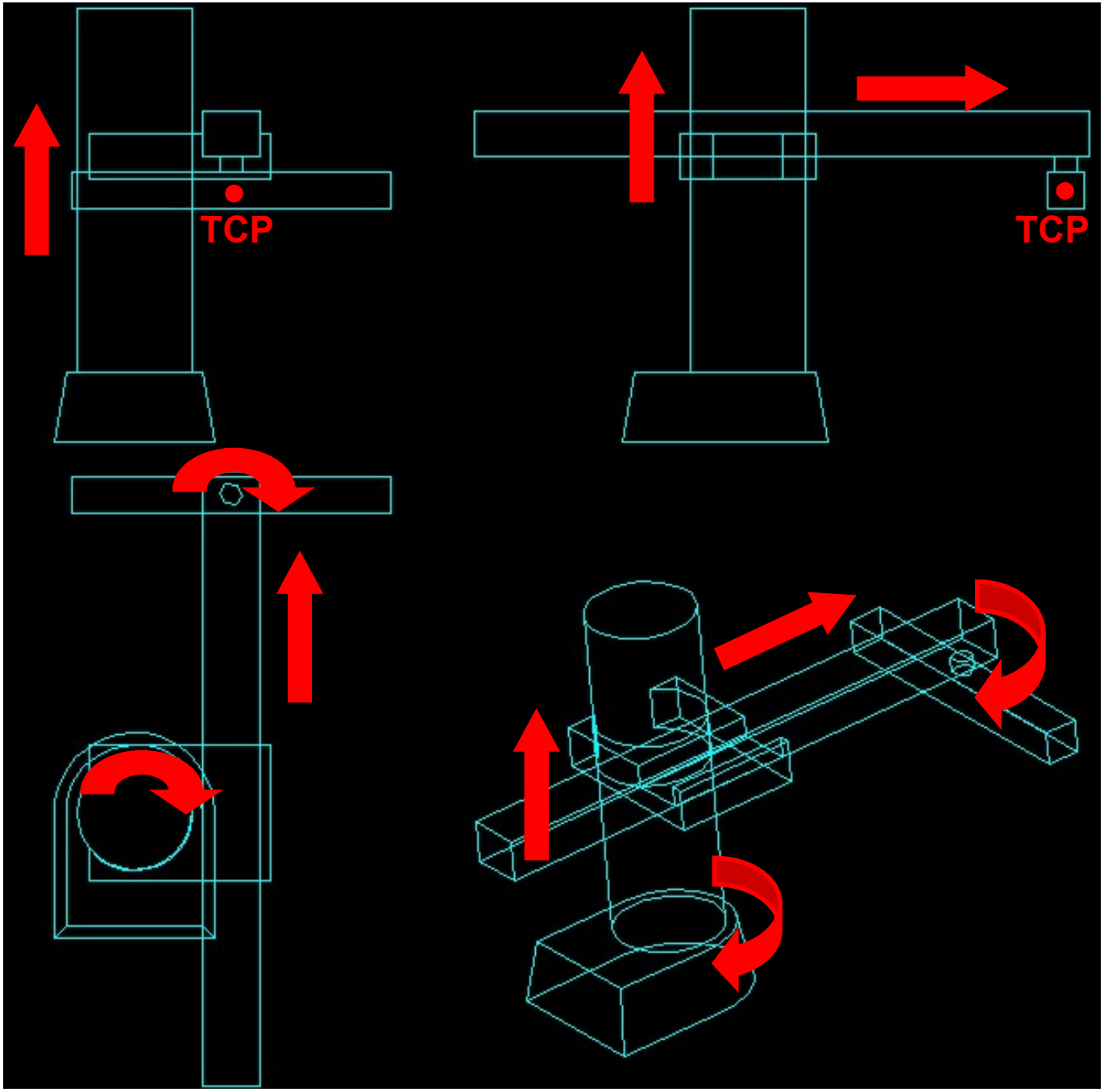
Opcjonalnie można określić zakresy przemieszczeń poszczególnych przegubów poprzez dodanie w instrukcji NEXT JOINT trzech parametrów określających kolejno:

- **wartość minimalną zmiennej konfiguracyjnej**
- **wartość maksymalną zmiennej konfiguracyjnej**
- **wartość początkową zmiennej konfiguracyjnej**

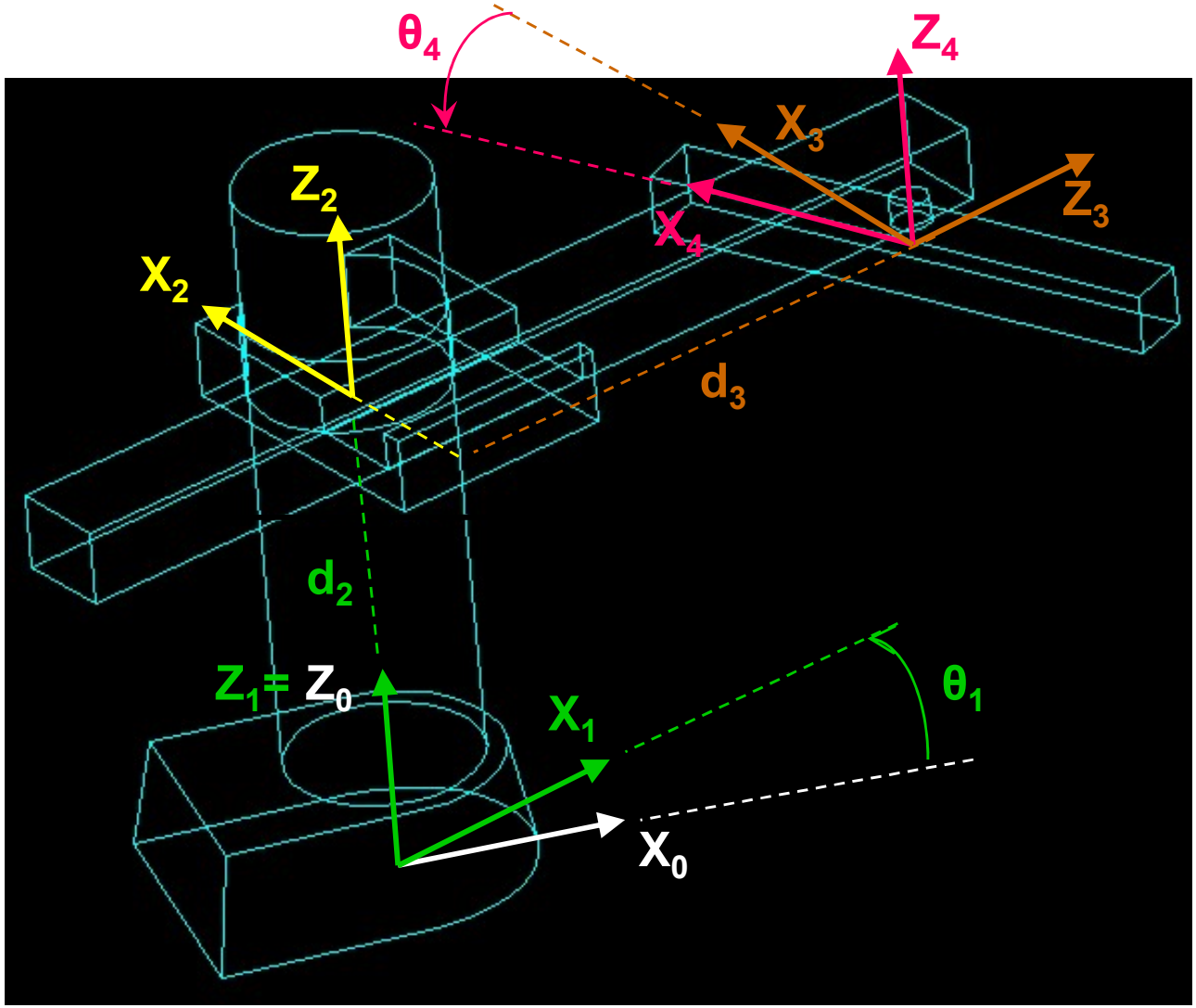
Przykład:

```
PROCEDURE KINEMATICS
NEXT JOINT (RAMIE1, BASE, 0°, 90°, 45°)
DH NOTATION (0, 0, 0, t() )
NEXT JOINT (RAMIE2, RAMIE1, -90°, 90°, 0°)
DH NOTATION ( L1, 0, 0, t() )
NEXT JOINT (RAMIE3, RAMIE2, -90°, 90°, 0°)
DH NOTATION ( L2, 0, 0, t() )
ENDPROC
```

Opis kinematyki przykładowego robota



Opis kinematyki przykładowego robota – c.d.



i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0º	0	θ_1
2	0	0º	d_2	90º
3	- 42.5	90º	d_3	0º
4	0	-90º	0	θ_4

```
procedure kinematics
next joint(column,base,-150°,150°,20°)
dh notation(0,0,0,t())
next joint(slider,column,70,160,130)
dh notation(0,0,t(),90°)
next joint(arm,slider,40,230,140)
dh notation(-42.5,90°,t(),0)
next joint(efector,arm,-180°,180°,20°)
dh notation(0,-90°,0,t())
endproc
```

Robotyzacja stanowisk spawalniczych

Robotyzacja stanowisk spawalniczych dotyczy głównie następujących metod:

- **Spawanie łukowe**
- **Zgrzewanie oporowe**
- **Spawanie laserowe**
- **Przecinanie laserowe i plazmowe**

Elektryczne spawanie łukowe

Podstawowe metody:

- **MIG – spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazu obojętnego (metal inert gas)**
- **MAG – spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazu aktywnego (metal active gas)**
- **TIG – spawanie elektrodą wolframową (przeważnie w osłonie argonu) (tungsten inert gas)**

Wpływ wybranej metody na rozwiązania techniczne związane z robotyzacją stanowiska:

- **MIG/MAG – konieczność zastosowania podajnika drutu elektrodowego. Metoda ta charakteryzuje się wysoką wydajnością**
- **TIG – konieczność podawania spoiwa (w przypadku grubszych elementów łączonych i stosowania ukosowania brzegów). Metoda ta charakteryzuje się wysoką jakością wykonywanych spoin**

Projektowanie stanowiska do spawania łukowego

Należy dokonać właściwego przydzielenia poszczególnym urządzeniom stanowiska (lub obsłudze operatorskiej) następujących czynności składowych:

- **Dostarczenie łączonych elementów do urządzenia mocująco – ustawczego**
- **Zamocowanie łączonych elementów**
- **Realizacja procesu spawania:**
  - **Ustawienie pozycji początkowej elektrody**
  - **Zapoczątkowanie ruchu roboczego elektrody**
  - **Wyłączenie zasilania elektrody po zakończonym spawaniu**
  - **Kontrola wykonanego spawu i ewentualna korekta**
- **Odmocowanie połączonych elementów**
- **Zdjęcie zespawanego podzespołu z urządzenia mocującego**

Urządzenia i podzespoły wchodzące w skład zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych

- System robota przemysłowego przystosowany do współpracy z zestawem spawalniczym
- Zestaw spawalniczy przystosowany do współpracy z robotem
- Układ sterowania stanowiska (przeważnie PLC z panelem operatorskim)
- System pozycjonowania i mocowania przedmiotów spawanych
- System zabezpieczenia stanowiska (ogrodzenia, bariery, sygnalizacja)
- System dostarczania części do spawania i odbioru pospawanych zespołów
- Wyposażenie dodatkowe do czyszczenia palnika, obcinania drutu, urządzenia wentylacyjne

Charakterystyka zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych

Typowa charakterystyka i parametry stanowisk spawalniczych:

- **Zazwyczaj przegubowa struktura kinematyczna robota spawalniczego**
- **Ruchliwość robota: przeważnie 6 stopni swobody**
- **Często wystarcza udźwig robota rzędu kilku – kilkunastu kilogramów**
- **Powtarzalność pozycjonowania rzędu kilku dziesiątych części milimetra**
- **Znaczna prędkość ruchu (do kilku m/s) w celu redukcji czasu trwania ruchów ustawczych**
- **Konieczność zabezpieczenia robota przed temperaturą i odpryskami**
- **Modułowa budowa pozycjonerów (co może obniżyć ich bardzo wysoki koszt)**
- **Stosowanie układów wyszukiwania lokalizujących położenie złącza (prądowe układy śledzenia, czujniki laserowe, kamery CCD powiązane z systemem analizy obrazu)**

Wymagania dotyczące układów sterowania robotów spawalniczych

- Współpraca układu sterowania robota z pozycjonerem
- Współpraca układu sterowania robota z podajnikiem drutu i źródłem prądu
- Współpraca układu sterowania robota z torem jezdnym traktowanym jako zewnętrzna oś robota
- Podprogramy różnych wzorów ruchów oscylacyjnych (dla szerokich spoin)
- Procedura ponownego zapłonu łuku w razie zapłonu nieudanego (przesunięcie w zaprogramowanym kierunku i ponowna próba)
- Procedura automatycznego uwalniania przyspawanego drutu
- Odpowiednia procedura wznawiania spawania w przypadku awarii zasilania
- Procedura kalibrowania narzędzia (TCP) np. po uderzeniu palnikiem bądź wymianie palnika

Korekcja trajektorii w zrobotyzowanych stanowiskach spawalniczych

Zadanie – lokalizacja rzeczywistego położenia złącza

Cel – uniknięcie wpływu na jakość spoin innego niż założone położenia złącza, które może wynikać z:

- **niedokładności wykonania podzespołów, błędów ich pozycjonowania, zmienności gabarytów (w ramach pola tolerancji)**
- **odkształceń termicznych materiału powstałych w trakcie spawania**
- **innej niż założona pozycji i orientacji palnika np. wskutek kolizji palnika z elementami stanowiska**

Możliwe odmiany korekcji trajektorii:

- **Korekcja trajektorii off-line (seam/path finding)**
- **Korekcja trajektorii on-line (seam/path tracking) – wymagana jest odporność na warunki środowiskowe (światło, temperatura, zapylenie, zadymienie) oraz duża szybkość działania, zapewniająca wykorzystanie na bieżąco uzyskiwanej informacji**

Korekcja trajektorii off-line

Możliwe rozwiązania techniczne:

- **Czujnik dotykowy połączony z jednym z wejść zewnętrznych robota (fizycznie przeważnie wykorzystany jest drut spawalniczy). Spawarka współpracująca z robotem musi być wyposażona w funkcję umożliwiającą takie działanie. Charakteryzuje się dość długim czasem pomiaru (rzędu kilkunastu sekund)**
- **Czujnik bezdotykowy (pomiaru odległości) montowany najczęściej na ramieniu robota**
- **Specjalizowany skaner laserowy tzw. czujnik profilu, wykorzystujący zasadę pomiaru triangulacyjnego**
- **System wizyjny 2D lub 3D (rozwiązanie najdroższe ale umożliwiające dodatkowo analizę przekroju rowka spawalniczego oraz korektę parametrów spawania)**

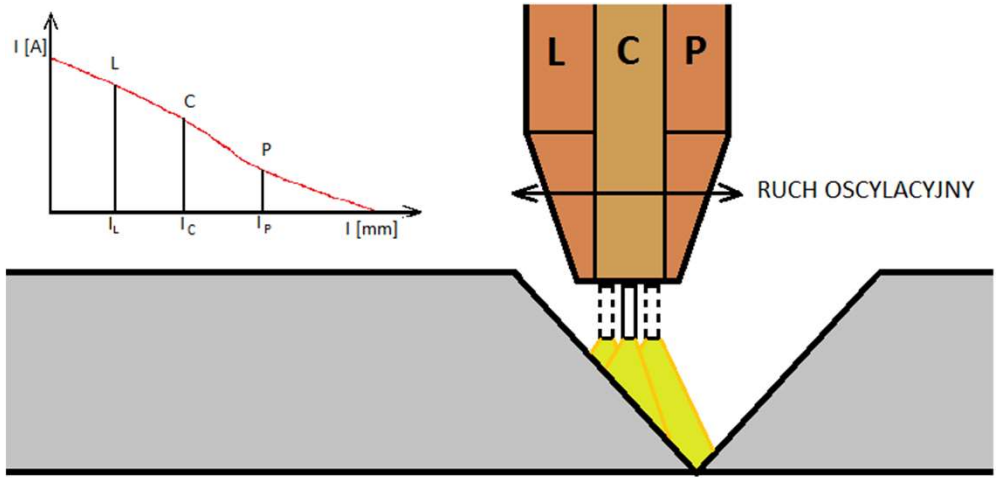
Korekcja trajektorii on-line

Możliwe rozwiązania techniczne:

- **TAST (Through Arc Seam Tracking):**

Korekcja trajektorii na podstawie pomiaru parametrów łuku (m.in. natężenia prądu spawania) podczas wahadłowego ruchu uchwytu spawalniczego, prostopadłego do ścieżki spawania.

Wykorzystuje się zależność aktualnej wartości parametru prądu spawania od odległości od materiału. Wraz ze wzrostem odległości końcówki spawanej od materiału, parametr ten maleje, natomiast przy zmniejszeniu odległości – wzrasta



Pokaz wideo

https://www.youtube.com/watch?v=A8iSB1sJv0Y (5-133)

Korekcja trajektorii on-line – c.d.

- **Korekcja trajektorii przy użyciu skanerów laserowych, na podstawie analizy charakterystycznych punktów na fragmencie konturu detalu zawierającym spoinę. Jest to metoda bardzo droga, wymagająca wykwalifikowanego personelu: zarówno programisty jak i operatora. Dla różnych typów złącz (różnych przekrojów) stosowane są różne algorytmy (operator musi wybrać, jaki typ złącza ma być śledzony)**
- **Korekcja trajektorii wykorzystywana w przypadku robotów spawalniczych wyposażonych w kamerę i system wizyjny, pozwalająca na rozpoznanie ścieżki i dostosowanie trajektorii, nawet gdy położenie przedmiotu zostało zmienione w trakcie pracy robota (Real Time Seam Tracking)**

Korekcja trajektorii on-line – c.d.

Ograniczenia zastosowania:

- **Wysoki koszt**
- **Niewystarczająca niezawodność systemów sensorycznych, wynikająca z ograniczonej odporności na czynniki środowiskowe**
- **Ograniczony dostęp palnika do spoiny na skutek zamocowania czujnika**
- **Możliwość zastosowania tylko przy dłuższych spoinach**

Przykład całkowicie zautomatyzowanego procesu spawalniczego

Pokaz wideo

(Self programming robot welding)

https://www.youtube.com/watch?v=VSR22YMmv54 **(8-226)**

Elektryczne zgrzewanie oporowe

Odmiany zgrzewania oporowego:

- **punktowe**
- **garbowe – punktowe w miejscach „garbów” np. na blasze**
- **liniowe**
- **zwarciowe – z silnym dociskiem zgrzewanych elementów**
- **iskrowe – z niewielkim dociskiem zapewniającym styk prądowy w kilku miejscach**

Elektryczne zgrzewanie oporowe – c.d.

Zastosowania zgrzewania oporowego:

- **punktowe: w produkcji karoserii samochodów, samolotów, wagonów kolejowych**
- **garbowe: w produkcji samochodów**
- **liniowe: w produkcji rur i zbiorników cienkościennych**
- **zwarciowe i iskrowe: przy łączeniu szyn kolejowych, prętów zbrojeniowych, obręczy kół rowerowych, ogniw łańcuchów**

Robotyzacja zgrzewania oporowego

Cechy robotów do zgrzewania oporowego:

- **Przeważnie struktura kinematyczna przegubowa**
- **Odpowiednia liczba stopni swobody, umożliwiająca wykonanie zgrzeiny w wymaganym położeniu**
- **Przestrzeń robocza manipulacyjna umożliwiająca dostęp do wszystkich punktów zgrzewanych**
- **Wystarczająca dokładność pozycjonowania**

Zrobotyzowane zgrzewanie oporowe karoserii samochodowych

https://www.youtube.com/watch?v=N5AYZxsnDuM **(0-60)**

Robotyzacja zgrzewania oporowego – c.d.

Cechy zgrzewarek współpracujących z robotami:

- **Sterowane mikroprocesorowo źródło prądu, umożliwiające automatyczny dobór właściwej wartości natężenia prądu i czasu zgrzewania**
- **Wbudowany układ kontroli napięcia sieciowego zapewniający stabilizację, ewentualnie korekcję prądu**
- **Automatyczne sterowanie dociskiem elektrod do łączonych części**

Spawanie i cięcie laserowe

Możliwe warianty rozdzielania materiału podczas cięcia laserowego:

- **Sublimacja**
- **Topienie**
- **Wypalanie**

Cięcie przez sublimację:

- **Wymaga dostarczania bardzo dużej energii**
- **Pary metalu są wydmuchiwane ze szczeliny przez gaz (azot lub argon)**
- **Powierzchnia cięcia jest bardzo gładka, bez jakichkolwiek wytopów**

Zrobotyzowane cięcie laserowe

https://www.youtube.com/watch?v=7k20Zp5aPjY (0-72)

Spawanie i cięcie laserowe – c.d.

Cięcie przez topienie:

- **Wymaga mniejszej ilości energii**
- **Stopiony metal jest wydmuchiwany ze szczeliny przez gaz**

Cięcie przez wypalanie:

- **Wymaga dostarczenia stosunkowo małej ilości energii (ok. 20 razy mniej niż przy cięciu sublimacyjnym)**
- **Jako gaz stosuje się tlen**
- **Zapewnione są duże prędkości cięcia**

Zalety zrobotyzowanego spawania i cięcia laserowego

- Obróbka jest realizowana bez użycia siły (ważne ze względu na stosunkowo małą sztywność robotów przemysłowych oraz możliwość stosowania prostych przyrządów ustalających)
- Szybkość obróbki jest duża (wpływa na wydajność)
- Strefa wysokiej temperatury jest stosunkowo mała (mały wpływ temperatury na obrabiany element)
- Powierzchnia cięta charakteryzuje się małą chropowatością (najczęściej nie jest potrzebna dodatkowa obróbka)
- Uzyskuje się dużą dokładność cięcia (w produkcji seryjnej do 0,05 mm)
- Nie występuje hałas na stanowisku roboczym
- Łatwo można zmienić parametry wycinanego elementu (wystarczy zmienić program sterujący robotem, a nie np. wykonywać nową matrycę)

Cięcie plazmowe

Cięcie plazmowe:

- **Stosowane do materiałów przewodzących prąd elektryczny (gęstość prądu do 90 A/mm^2)**
- **Zapewnia małą szerokość szczeliny i dużą gładkość powierzchni**
- **Cięte materiały: głównie stale węglowe o grubości od 0.5 do 12 mm**

Robotyzacja stanowisk manipulacji i paletyzacji

Typowe czynności realizowane przez roboty:

- **Paletyzacja**
- **Depaletyzacja**
- **Pakowanie skrzyń**
- **Zdejmowanie pojemników**
- **Składowanie**
- **Załadunek/wyładunek maszyn**
- **Sortowanie**
- **Podawanie części**

Zrobotyzowany system paletyzowania

https://www.youtube.com/watch?v=7U1-X5ogsKA (38-85)

Pokaz robota sortującego

https://www.youtube.com/watch?v=Q8PNMcNEjdA (4-45)

Zrobotyzowane stanowiska obróbkowe

Dwa warianty stosowania robotów w obróbce skrawaniem:

- **Obsługa obrabiarek skrawających w zakresie ładowania i rozładowywania przedmiotów obrabianych, a czasem także wymiany narzędzi, mycia przedmiotów obrobionych itp.**

Robot obsługujący obrabiarkę

https://www.youtube.com/watch?v=c8WNUC2etCw **(21-111)**

- **Samodzielne wykonywanie operacji obróbkowych np. z użyciem elektronarzędzi. Ograniczenia są związane głównie z małą dokładnością pozycjonowania i małą sztywnością robotów**

Robot realizujący operację obróbkową

https://www.youtube.com/watch?v=3o1waj2fxgY **(18-257)**

Rezultaty obróbki przeprowadzonej przez robota

https://www.youtube.com/watch?v=3o1waj2fxgY **(545-611)**

Zrobotyzowane stanowiska obróbkowe – c.d.

Roboty przemysłowe mogą znaleźć zastosowanie w systemach obróbkowych o różnych stopniach złożoności:

- **Do obsługi systemów jednomaszynowych: obrabiarek CNC, centrów obróbkowych, oraz w ramach autonomicznych stacji obróbkowych (ASO)**
- **Do obsługi systemów wielomaszynowych: elastycznych gniazd obróbkowych (EGO), elastycznych linii obróbkowych (ELO), elastycznych systemów obróbkowych (ESO)**

Zrobotyzowane stanowiska obróbkowe – c.d.

Autonomiczne stacje obróbkowe:

- Automatyczny proces obróbki
- Automatyczna zmiana przedmiotów
- Magazyn przedmiotów
- Automatyczna zmiana narzędzi
- Automatyczny nadzór i diagnostyka

Elastyczne gniazda obróbkowe:

- Wybór kolejności obróbki
- Automatyczny przepływ przedmiotów (z pewnymi ograniczeniami)

Zrobotyzowane stanowiska obróbkowe – c.d.

Elastyczne linie obróbkowe:

- Stały takt
- Obróbka według ustalonej kolejności
- Automatyczny przepływ przedmiotów
- Nadrzędny układ sterowania

Elastyczne systemy obróbkowe:

- Obróbka w dowolnej kolejności
- Automatyczny swobodny przepływ przedmiotów
- Automatyczny swobodny dobór narzędzi
- Nadrzędny układ sterowania

Zrobotyzowane stanowiska obróbkowe – c.d.

Warianty zastosowania urządzeń i maszyn manipulacyjnych w autonomicznych stacjach obróbkowych (ASO):

- **Manipulator zintegrowany z obrabiarką**
- **Robot wolnostojący (rozwiązanie ograniczone do manipulacji małymi przedmiotami obrabianymi, wadą jest ograniczenia dostępu do obrabiarki)**
- **Robot bramowy usytuowany ponad obrabiarką**

Roboty bramowe

Roboty bramowe znajdują zastosowanie nie tylko przy obsłudze obrabiarek lecz są wykorzystywane także do realizacji zadań innego rodzaju np. paletyzacji.
Rodzaje robotów bramowych (portalowych):

- **liniowe**
- **powierzchniowe (mogą obsługiwać wiele maszyn)**

Robot bramowy powierzchniowy

https://www.youtube.com/watch?v=g-JTO2hTmEE **(10-103)**

Robot bramowy liniowy

https://www.youtube.com/watch?v=BJ2UHvZb4nA **(0-65)**

Roboty bramowe – c.d.

Cechy eksploatacyjne robotów bramowych:

- **Zajmują mało miejsca na hali produkcyjnej**
- **Nie utrudniają dostępu do maszyn**
- **Nadają się do obsługi obrabiarek o poziomej osi uchwytu**
- **Charakteryzują się dużym udźwigiem**
- **Mają duży zakres przesuwu (do kilku a nawet kilkunastu metrów w kierunkach poziomych)**
- **Zapewniają dokładność pozycjonowania nawet rzędu kilku setnych części milimetra**
- **Mogą manipulować nie tylko przedmiotami obrabianymi ale także narzędziami (czasem na tych samych prowadnicach umieszczone są dwa niezależne wózki wyposażone w chwytaki)**
- **Można stosować chwytaki wymienne**

Organizacja zrobotyzowanego systemu obróbkowego

Czynniki wpływające na organizację zrobotyzowanego systemu obróbkowego:

- Liczba obrabiarek obsługiwanych przez robota i miejsce ich zainstalowania
- Sposób ustawienia obrabiarek na hali produkcyjnej (np. czy w postaci linii, czy gniazda)
- Proces technologiczny

Wymagania wobec zrobotyzowanego systemu obróbkowego dotyczące sytuacji awaryjnych:

- W przypadku awarii jednej z obrabiarek powinna być możliwa dalsza współpraca robota z pozostałymi obrabiarkami
- W przypadku awarii robota powinna być możliwa obsługa obrabiarek przez operatora

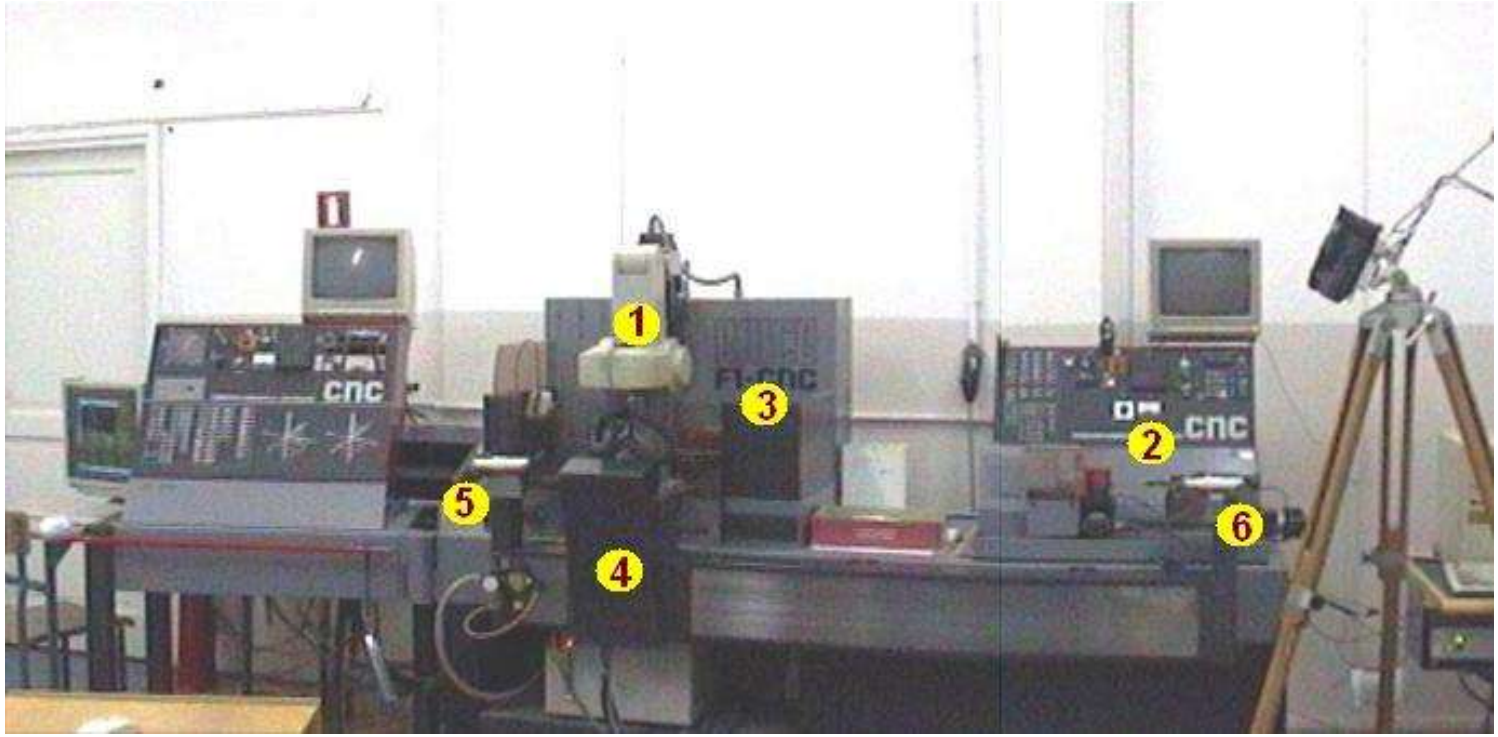
Wymagania odnośnie obrabiarek obsługiwanych przez roboty

- Automatyczne otwieranie i zamykanie osłon
- Sygnalizacja uchwycenia i zwolnienia przedmiotu z uchwytu obróbkowego
- Sterowany obrót wrzeciona
- Przedmuch sprężonym powietrzem szczęk uchwytu
- Zmechanizowanie odprowadzania wiórów
- Nadzorowanie zużycia i uszkodzeń narzędzi skrawających
- Komunikacja układu sterowania obrabiarki i obsługującego ją robota

Przykładowa konfiguracja zrobotyzowanego gniazda obróbkowego

Podsystemy zrobotyzowanego gniazda obróbkowego:

- **Podsystem technologiczny: tokarka NC (2) i frezarka NC (3)**
- **Podsystem manipulacji przedmiotami: robot przegubowy (1)**
- **Podsystem transportowy: sanie pneumatyczne (4)**
- **Podsystem magazynowania: dwie palety 5-pozycyjne (5,6)**



Trójpoziomowa struktura sterowania gniazdem zrobotyzowanym

Warstwa I (kontrolno-decyzyjna):

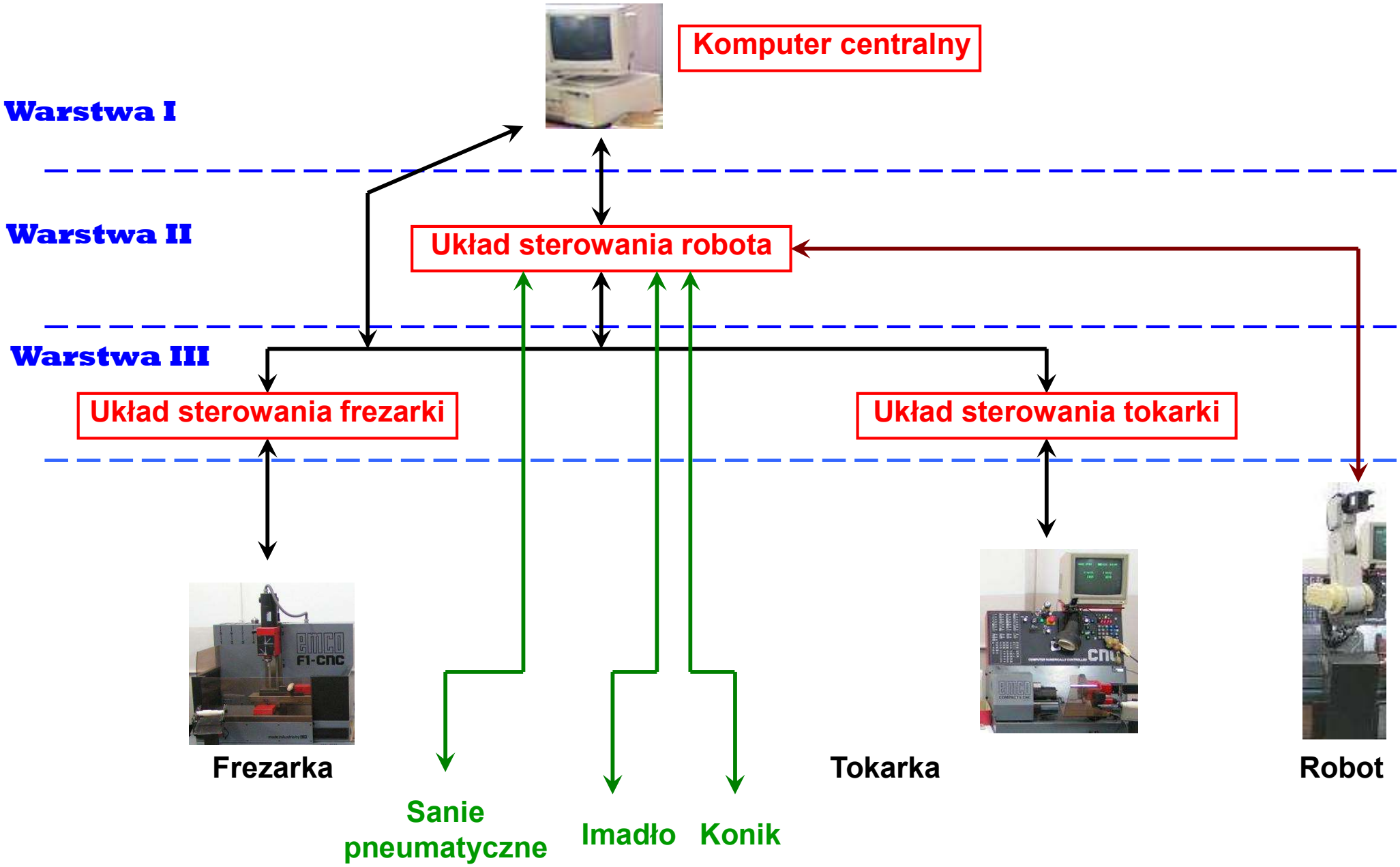
- Przechowywanie i wywoływanie odpowiednich programów technologicznych
- Generowanie harmonogramów pracy gniazda
- Prowadzenie dokumentacji procesu obróbki (liczba obrobionych części, czas pracy obrabiarek, czasy stanów awaryjnych)
- Zliczanie czasu pracy narzędzi i informowanie o konieczności wymiany
- Komunikacja z personelem nadzorującym pracę gniazda
- Sygnalizacja stanów awaryjnych
- Wysyłanie sygnałów blokujących w przypadku konieczności ingerencji personelu

Warstwa II – bezpośrednie sterowanie pracą gniazda:

- Sterowanie pracą robota
- Otwieranie i zamykanie uchwytów obróbkowych
- Uruchamianie cyklu pracy obrabiarek
- Przesuwanie sań robota

Warstwa III (technologiczna): sterowanie pracą obrabiarek przez ich układy sterowania, z ewentualną współpracą układów diagnostyczno-nadzorczych

Trójpoziomowa struktura sterowania gniazdem zrobotyzowanym – przykład



Komunikacja układu sterowania obrabiarki i obsługującego ją robota

```
procedure na tokarke
load(//rright)
load(//lsend(100))
load(mc_1,9)
load(gc)
load(mc_10,25)
load(//tclose)
load(//wait)
load(go)
load(mc_30,40)
load(//lrun)
repeat
until ready()
execute
endproc
```

```
procedure na frezarke
load(//rleft)
load(//msend(101))
load(mc_170,160)
load(gc)
load(mc_155,145)
load(mc_55,60)
load(//vclose)
load(//wait)
load(go)
load(mc_65,75)
load(//mrun)
repeat
until ready()
execute
endproc
```

Komunikacja układu sterowania obrabiarki i obsługującego ją robota – c.d.

```
procedure z tokarki
load(//rright)
load(//wait)
load(mc_40,30)
load(gc)
load(//topen)
load(//wait)
load(mc_41,45)
load(mc_20,10)
load(go)
load(mc_10,15)
load(mc_80,75)
execute
endproc
```

```
procedure z frezarki
load(//rleft)
load(//wait)
load(mc_75,65)
load(gc)
load(//vopen)
load(//wait)
load(mc_140,155)
load(go)
load(mc_160,170)
execute
endproc
```

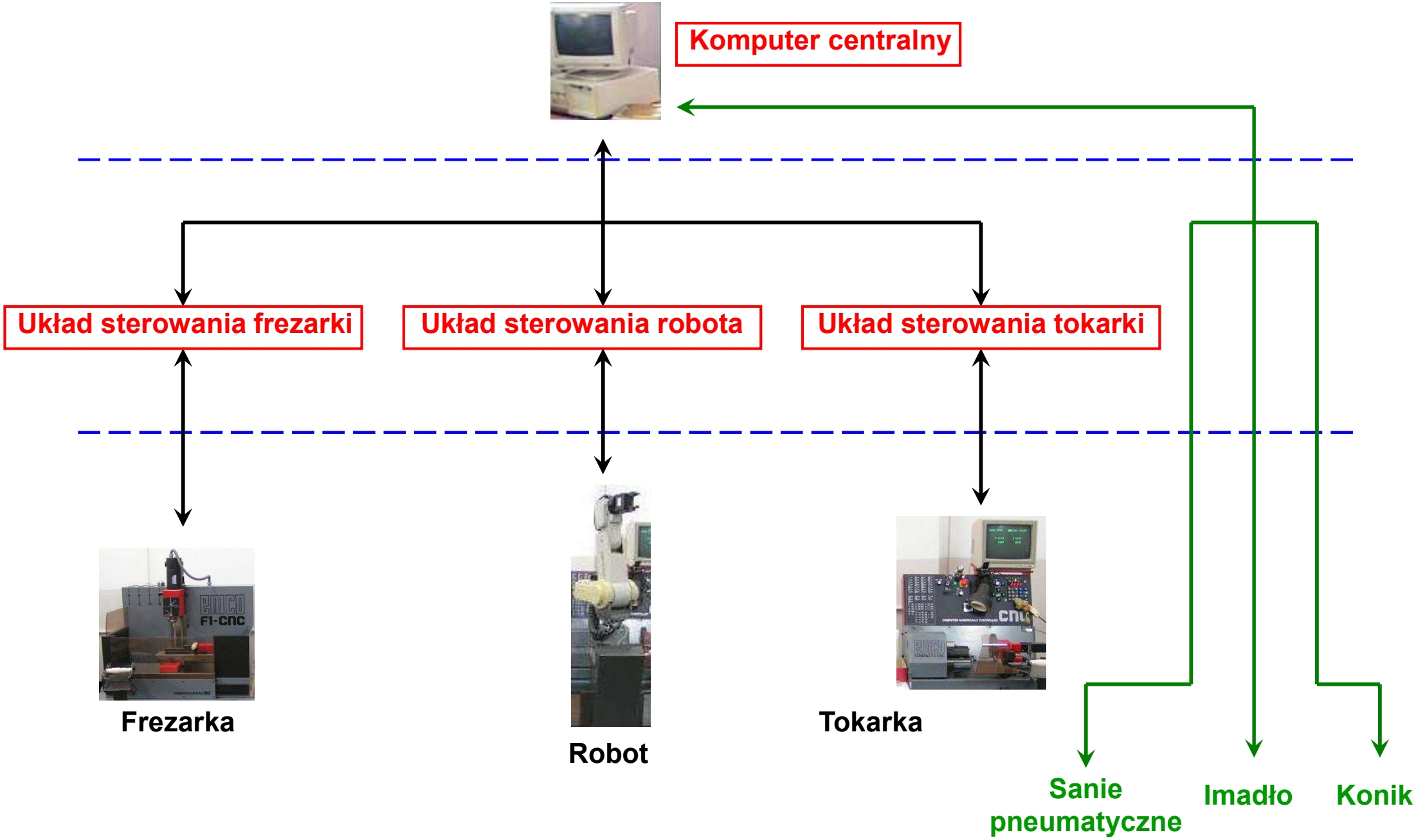
Komunikacja układu sterowania obrabiarki i obsługującego ją robota – c.d.

```
program
call na tokarke
call na frezarke
repeat
until ready()
repeat
 status fms
 if mworks() .&. lworks()
  skonczono:=0
 else
  skonczono:=1
 endif
until skonczono
```

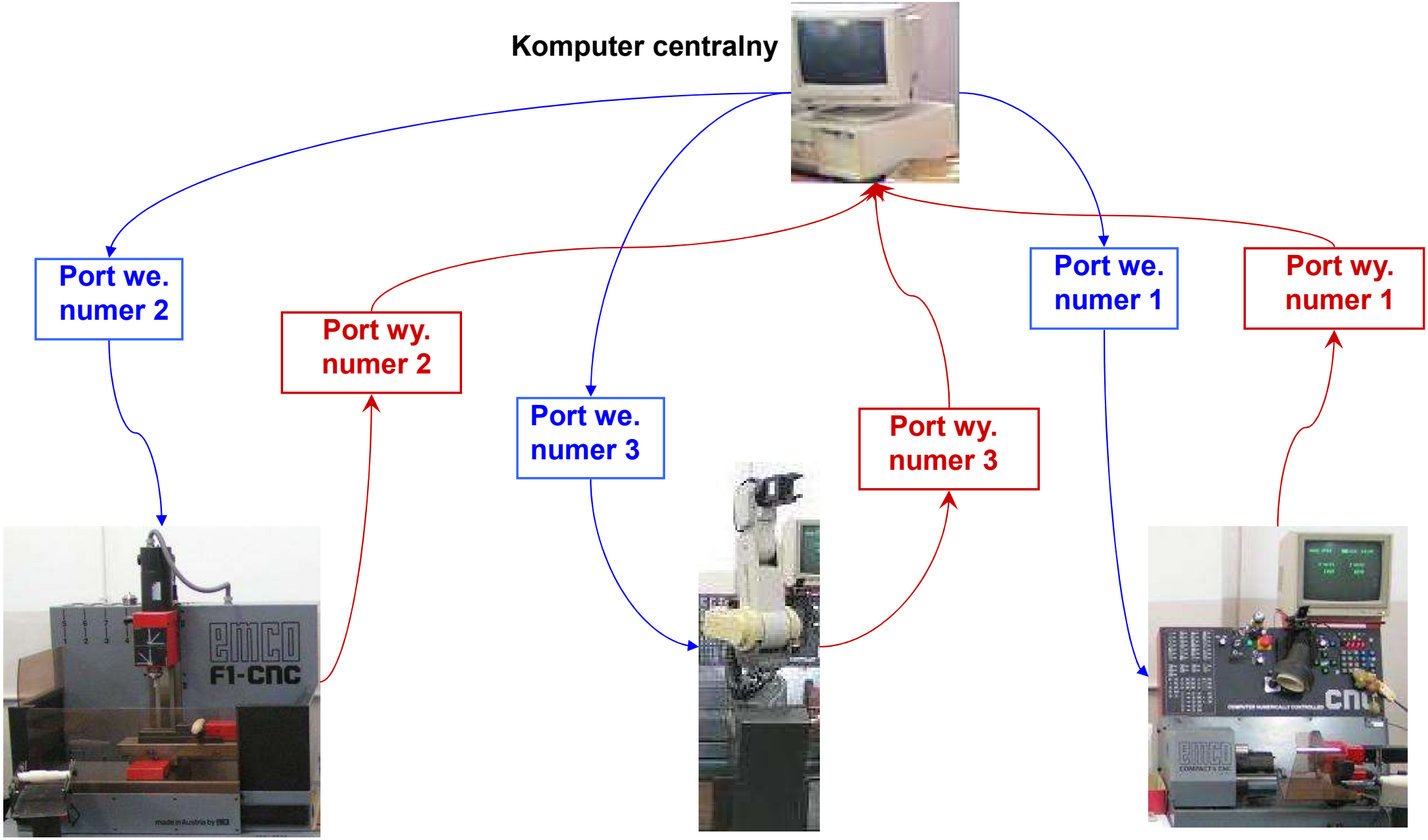
```
if lworks()
call z frezarki
repeat
until ready()
repeat
 status fms
until lworks()=0
call z tokarki
else
call z tokarki
repeat
until ready()
```

```
repeat
 status fms
 until mworks()=0
 call z frezarki
endif
load(nt)
repeat
until ready()
execute
```

Dwupoziomowa struktura centralnego sterowania gniazdem zrobotyzowanym w laboratorium



Komunikacja w zrobotyzowanym gnieździe obróbkowym

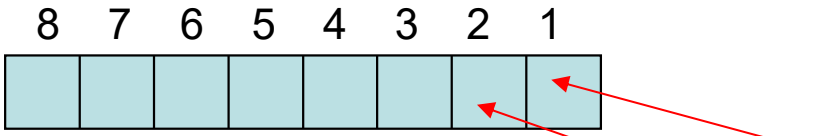


Podstawowe instrukcje i funkcje języka CAM1

DEFINE name	- początek makra	np. DEFINE TEST
ENDDEF	- koniec makra	
SEND a,b	- wysłanie programu o numerze “b” do obrabiarki o numerze “a”. Obrabiarkom przyporządkowane są następujące numery: 1 – tokarka 2 – frezarka 3 – robot (program wysłany do robota jest automatycznie uruchamiany)	np. SEND 3,5 (wysłanie programu o numerze 5 do robota)
funkcja STAT(a)	- zwraca wartość portu wyjściowego o numerze “a”	np. STAT(3) (wartość portu wy. o numerze 3)
SETCOMMAND a,b,c	- zmiana wartości określonych bitów portu we. o numerze “a”	np. SETCOMMAND 2,0,2 (otwarcie imadła)

Porty wejściowe

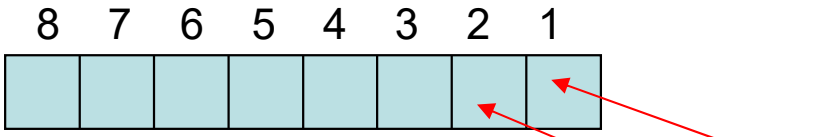
Port 1



1 – uruchomić program na tokarce CNC

1 – zamknąć konik / 0 – otworzyć konik

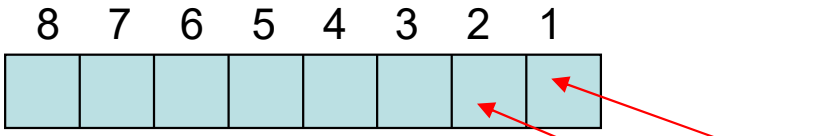
Port 2



1 – uruchomić program na frezarce CNC

1 – zamknąć imadło / 0 – otworzyć imadło

Port 3

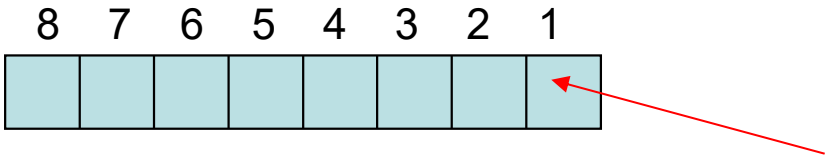


1 – uruchomić program sterujący robotem

1 – sanie robota w prawo / 0 – sanie w lewo

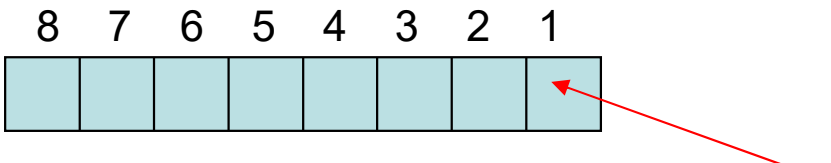
Porty wyjściowe

Port 1



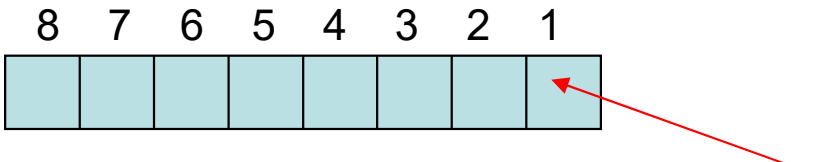
1 – tokarka pracuje / 0 – tokarka nie pracuje

Port 2



1 – frezarka pracuje / 0 – frezarka nie pracuje

Port 3



1 – robot pracuje / 0 – robot nie pracuje

Zmiana wartości bitów portów wejściowych za pomocą instrukcji SETCOMMAND

SETCOMMAND a , b , c

Port o numerze “a”

?	?	?	?	?	?	0	?

Parametr “b” (bity danych)

0	0	0	0	0	0	**0**	0	**0**

Parametr “c” (bity maskuące)

0	0	0	0	0	0	**1**	0	**2**

np.: SETCOMAND 2,0,2 - otworzyć imadło

Sprawdzanie wartości bitów portów wyjściowych za pomocą funkcji STAT

STAT(a) & 1

Port o numerze “a”	0	0	0	0	1	1	0	0	**12**
Liczba “1”	0	0	0	0	0	0	0	1	**1**
STAT (a) & 1	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**

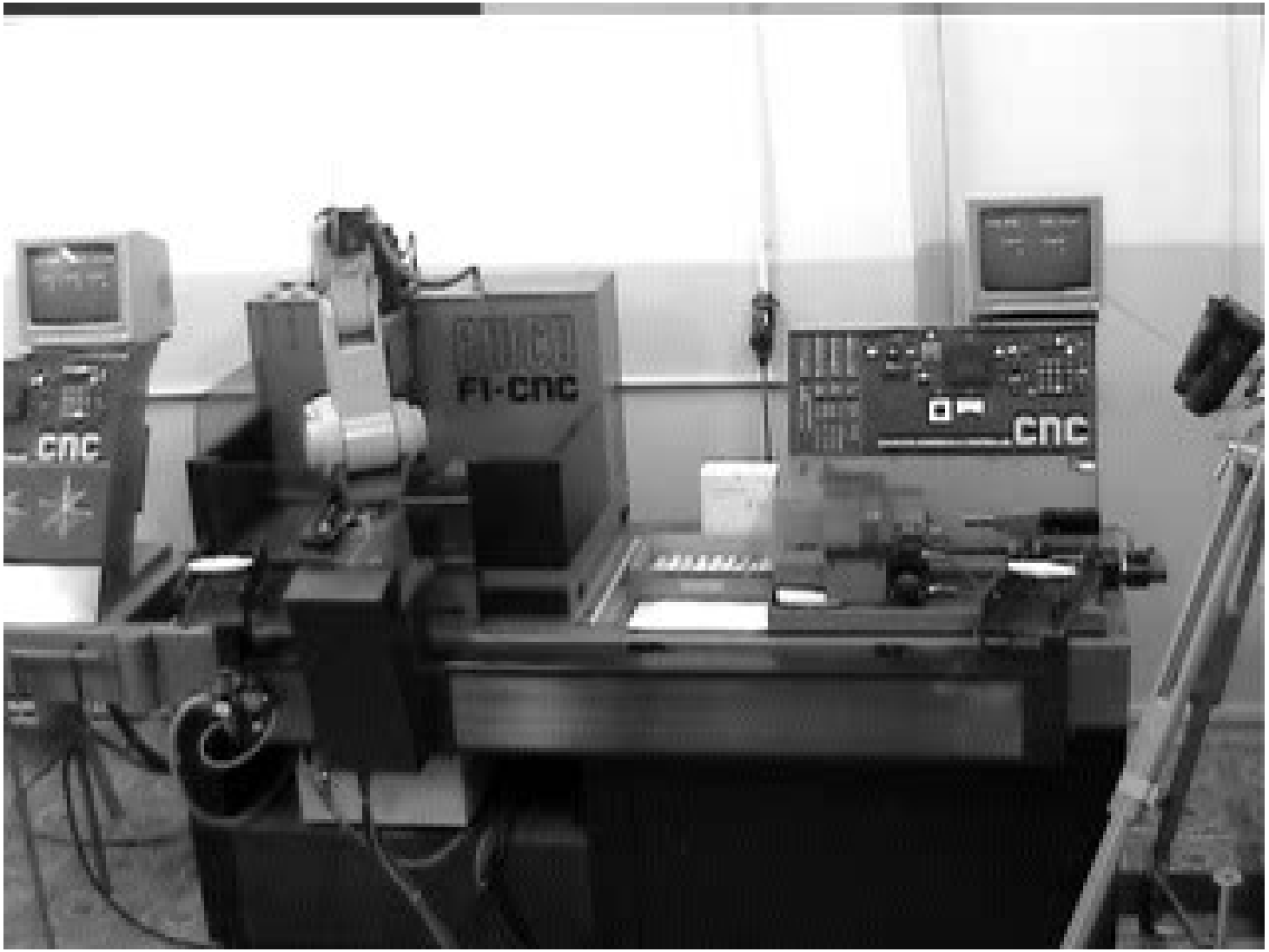
np.:

```
LOOP
UNTIL STAT(3) &1 = 0
```

- oczekiwanie na zakończenie realizacji programu przez robota

Przykładowy program sterujący

```
DEFINE TEST
RESET
DCONFIG
SEND 3,3
LOOP
UNTIL STAT(3)&1=0
SETCOMMAND 2,2,2
SEND 3,4
SEND 2,100
LOOP
UNTIL STAT(3)&1=0
SETCOMMAND 2,1,1
LOOP
UNTIL STAT(2)&1=0
SEND 3,7
LOOP
UNTIL STAT(3)&1=0
SETCOMMAND 2,0,2
SEND 3,8
ENDDEF
```



Porównanie programów sterujących w obu wersjach

Program sterujący gniazdem:

```
send 3,3
loop
until stat(3)&1=0
setcommand 2,2,2
send 3,4
loop
until stat(3)&1=0
setcommand 2,1,1
loop
until stat(2)&1=0
```

Program 3 (robot):

```
mc 170,160
gc
mc 155,145
mc 55,60
ed
```

Program 4 (robot):

```
go
mc 65,75
ed
```

Program sterujący robotem i gniazdem:

```
load(mc_170,160)
load(gc)
load(mc_155,145)
load(mc_55,60)
load(//vclose)
load(//wait)
load(go)
load(mc_65,75)
load(//mrun)
load(//mwait)
repeat
until ready()
execute
```

Robotyzacja stanowisk montażowych

Popularne zastosowania zrobotyzowanych systemów montażowych:

- **Montaż podzespołów elektronicznych na płytkach drukowanych**
- **Montaż podzespołów i zespołów samochodów osobowych**
- **Montaż urządzeń gospodarstwa domowego**
- **Montaż urządzeń elektrycznych np. silników**
- **Montaż sprzętu elektronicznego np. drukarek, komputerów**

Przykład zrobotyzowanego systemu montażowego

https://www.youtube.com/watch?v=FnIzI6sBOsA **(10-143)**

Trudności w robotyzacji montażu

Pełna automatyzacja montażu oznacza również automatyzację szeregu czynności realizowanych przed i po wykonaniu połączenia:

- **Pobranie poszczególnych części i odseparowanie ich od siebie**
- **Nadanie częściom właściwej orientacji**
- **Dostarczenie części na miejsce montażu**
- **Dokładne pozycjonowanie części względem siebie**
- **Realizacja połączenia**
- **Usunięcie zmontowanego zespołu ze stanowiska roboczego**

Przy realizacji tych czynności wykorzystuje się indywidualne cechy każdego asortymentu montowanych części. Stąd ograniczenie elastyczności zautomatyzowanych systemów montażowych.

Trudności w robotyzacji montażu – c.d.

Automatyzacja montażu jest kosztowna i daje niewielki wzrost wydajności. Jej podstawowe zalety to:

- **Zwiększenie powtarzalności montażu**
- **Poprawa bezpieczeństwa pracy**

Automatyzacja montażu jest opłacalna głównie w produkcji seryjnej i masowej.

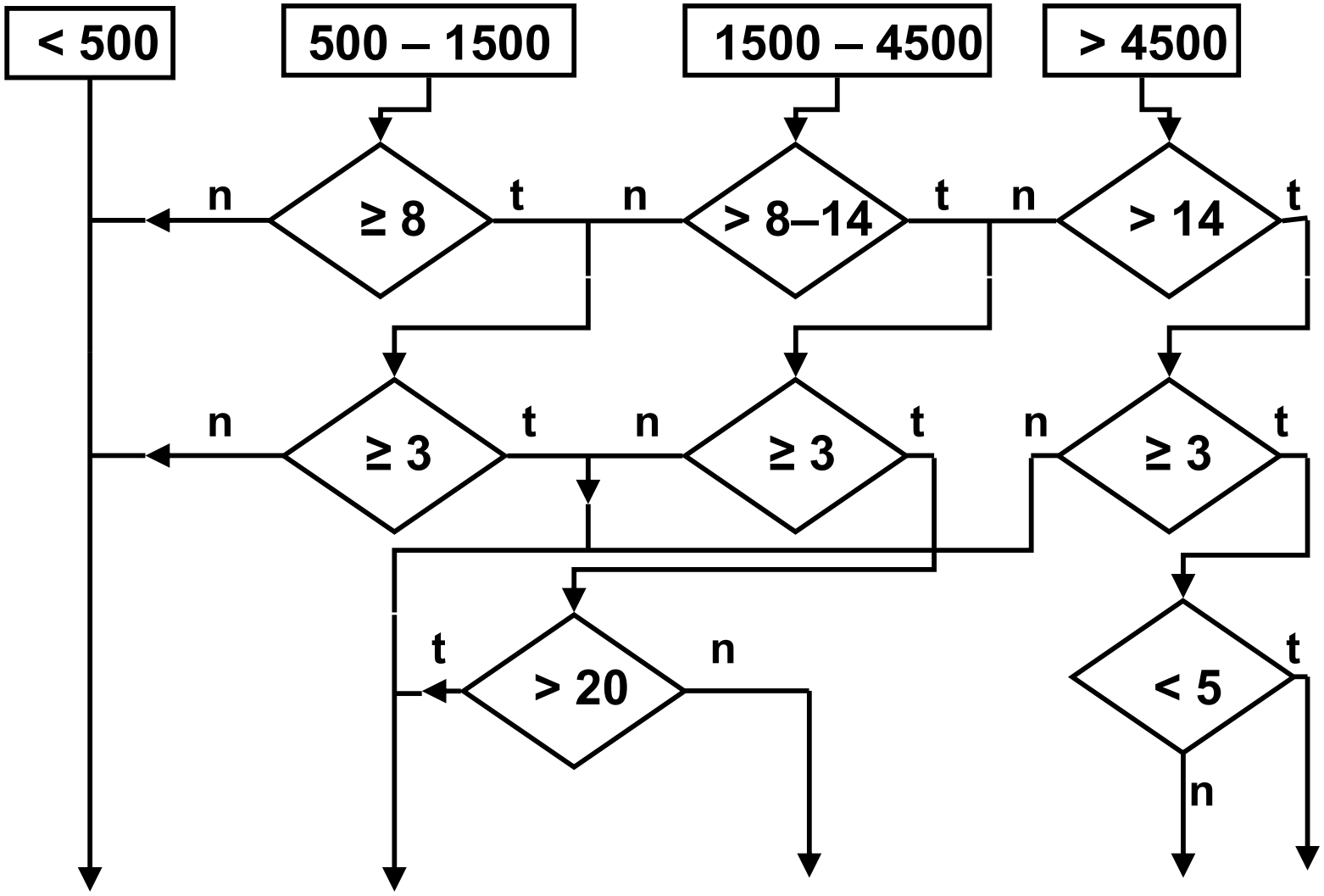
Przykładowy algorytm wyboru stopnia automatyzacji montażu

Wydajność (szt./zmianę)

Czas na uruchomienie serii (m-ce)

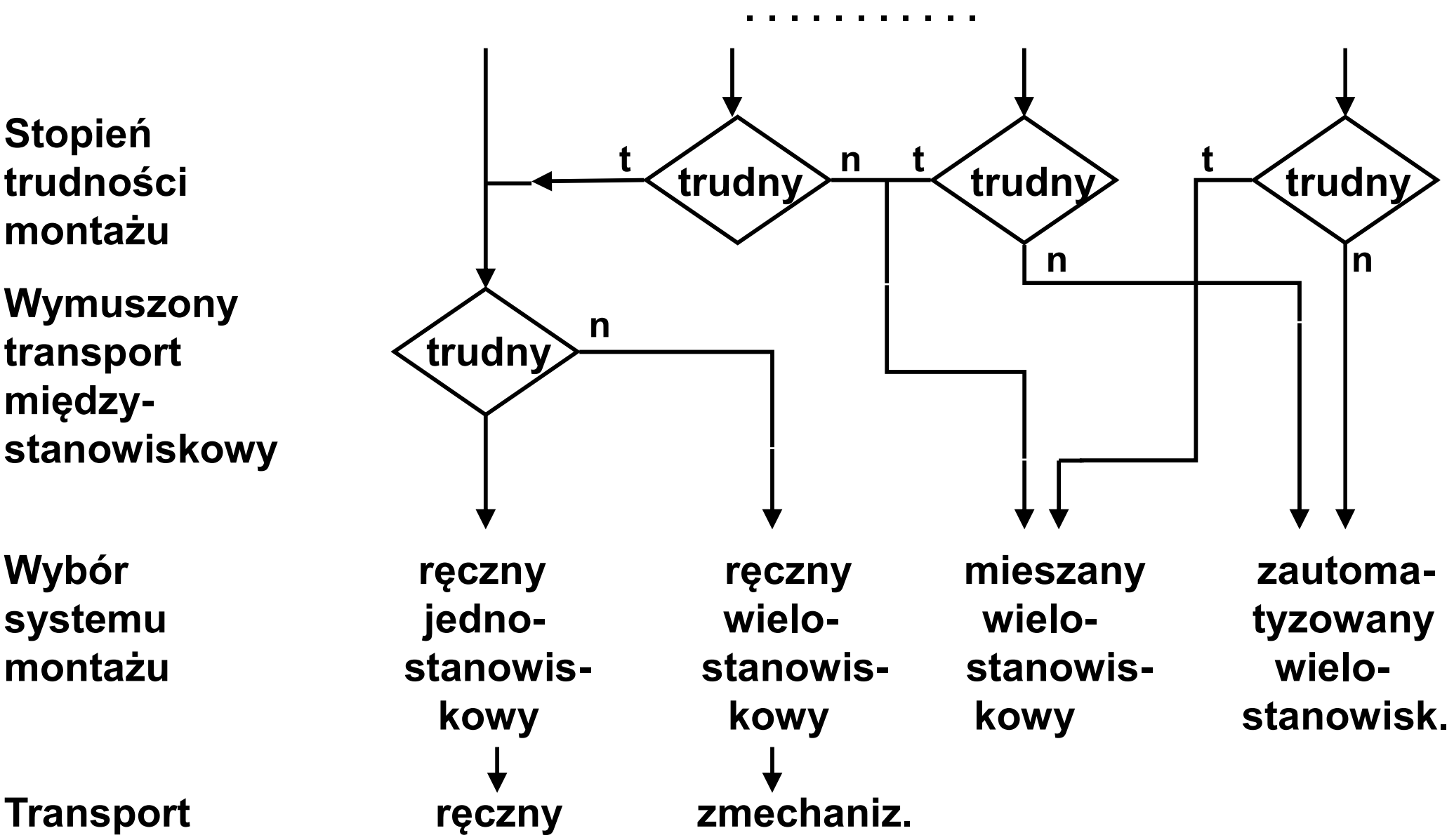
Przewidywany czas produkcji wyrobu (lata)

Różnorodność wariantów wyrobu



. . . . . .

Przykładowy algorytm wyboru stopnia automatyzacji montażu

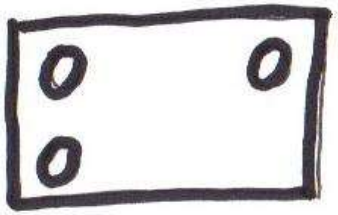


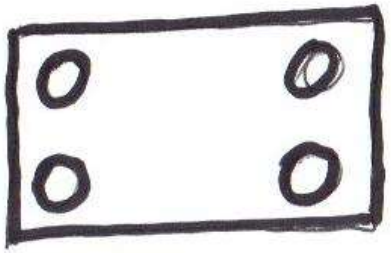
Wymagania odnośnie zrobotyzowanego systemu montażowego

- Konstrukcja i technologia musi być dostosowana do robotyzacji
- Części składowe powinny mieć tolerancje wymiarowe zapewniające całkowitą zamienność (bądź powinny być podzielone na grupy selekcyjne)
- Zrobotyzowany system montażowy powinien być zawierać skuteczny podsystem monitorowania, nadzorowania i diagnozowania ewentualnych nieprawidłowości

Dostosowanie konstrukcji oraz technologii montażu do potrzeb robotyzacji

- Jak najmniejsza liczba części składowych w zespole
- Kształt części składowych musi ułatwiać ich orientację

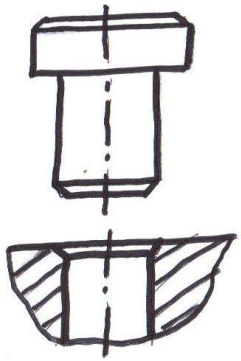




- Należy zapewnić łatwy dostęp części montowanych do zespołów i podzespołów (ogranicza to wymagania dotyczące liczby stopni swobody manipulatora)
- Montaż powinien się odbywać najlepiej po linii prostej z góry (ogranicza to wymagania orientacyjne manipulatora)
- Montaż jak największej liczby części z użyciem jednego narzędzia (redukuje to konieczność stosowania układów automatycznej wymiany narzędzia lub stosowania chwytaków wielonarzędziowych)

Dostosowanie konstrukcji oraz technologii montażu do potrzeb robotyzacji – c.d.

- **Części składowe montowane z małym luzem powinny mieć fazowane krawędzie (zmniejsza to wymagania dotyczące powtarzalności pozycjonowania robota)**



- **W miarę możliwości należy stosować połączenia na wcisk lub zatrzask, bez używania np. połączeń śrubowych (może to jednak wpłynąć na wymagania dotyczące sztywności robota)**
- **Powinno się unikać stosowania w konstrukcji sprężyn, klinów, wpustów i innych elementów wymagających stosowania specjalnych narzędzi (co wpłynęłoby na skomplikowanie stanowiska i ewentualnie konieczność zwiększenia liczby stopni swobody robota)**

Konfiguracja zrobotyzowanych stanowisk montażowych

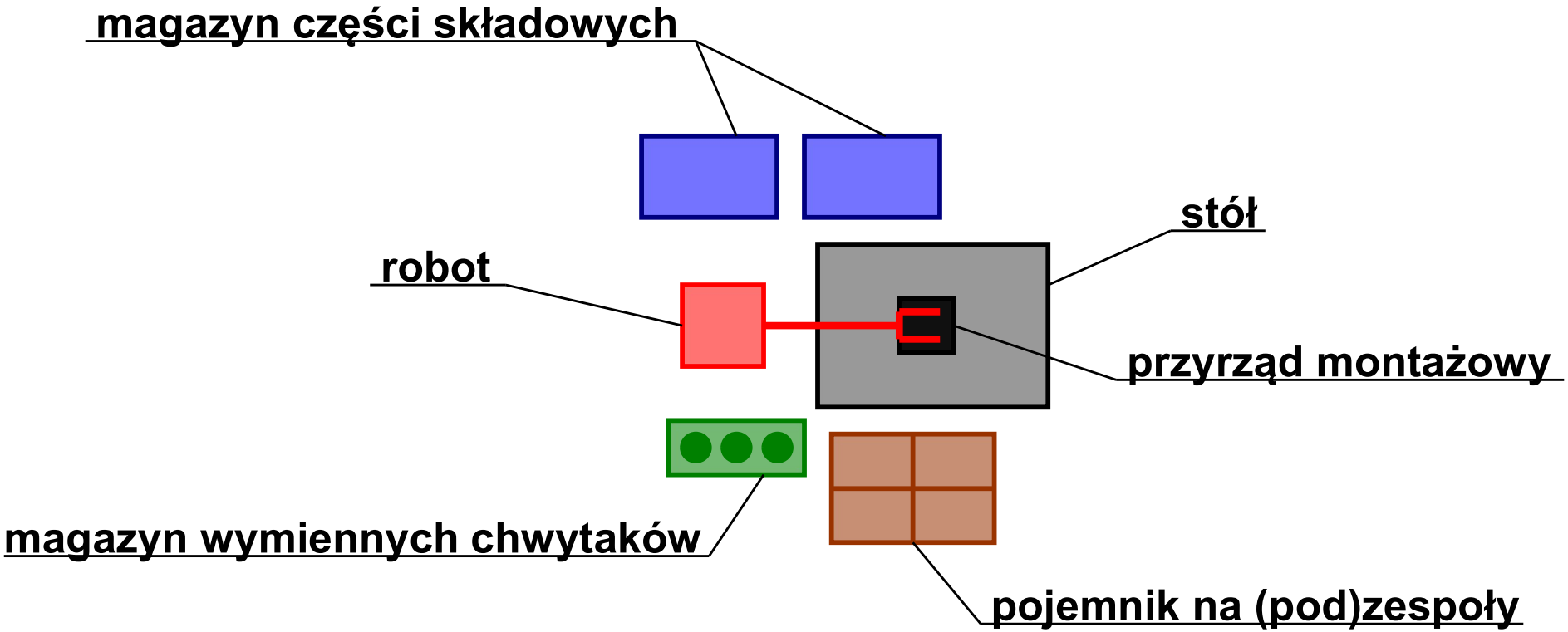
Systemy montażowe o konfiguracji równoległej – wykorzystują jedno lub wiele wielozadaniowych stanowisk roboczych:

- **Każde stanowisko jest w stanie wykonać wszystkie wymagane zadania montażowe potrzebne do zmontowania wyrobu lub podzespołu (pracując z jednym bądź kilkoma robotami jednocześnie)**
- **Każda stacja robocza posiada pełne wyposażenie pomocnicze potrzebne do zrealizowania zadań montażowych**
- **Każdy robot musi mieć zazwyczaj możliwość szybkiej wymiany narzędzia lub realizować pracę wielonarzędziową**

Systemy montażowe o konfiguracji szeregowej – każde stanowisko realizuje przeważnie jedno, czasem dwa zadania montażowe

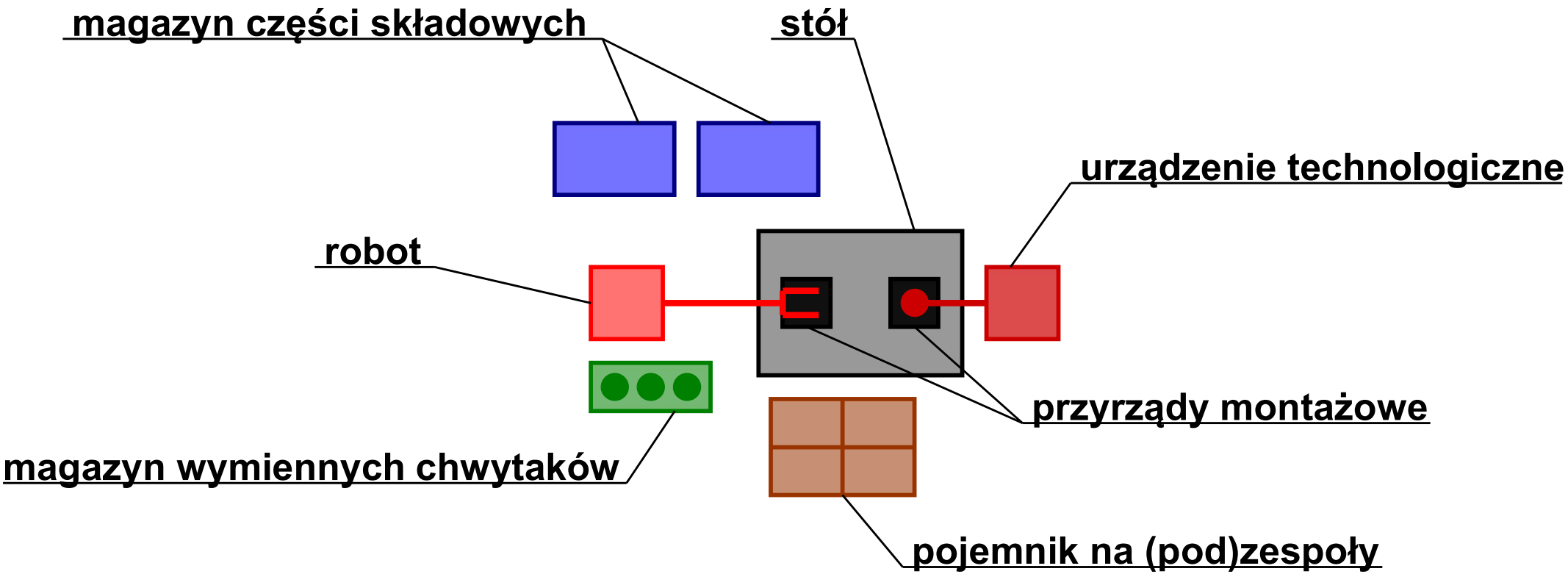
Stanowiska wykorzystywane w systemach montażowych o konfiguracji równoległej

Stanowisko z nieruchomym stołem i jednym robotem stacjonarnym



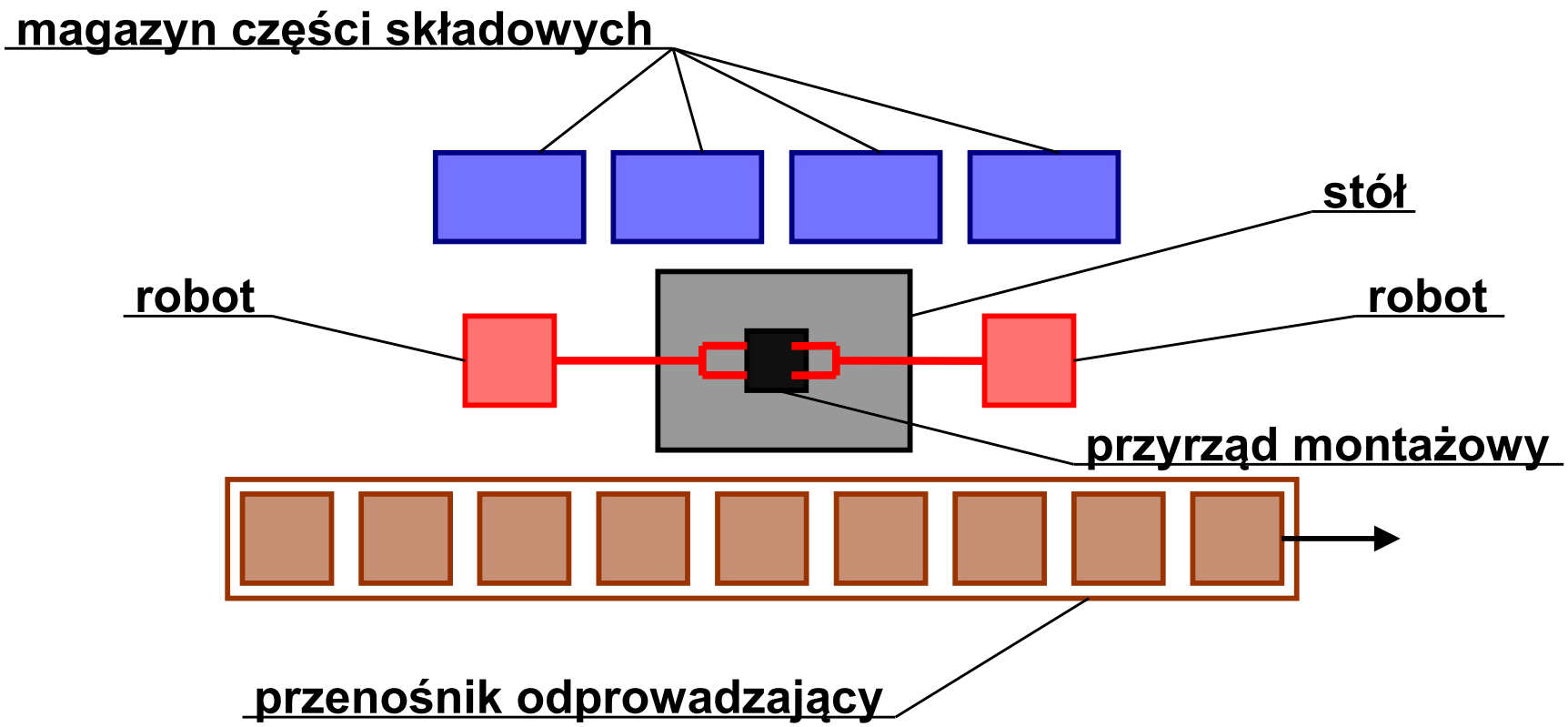
Stanowiska wykorzystywane w systemach montażowych o konfiguracji równoległej – c.d.

Stanowisko z nieruchomym stołem, jednym robotem stacjonarnym i urządzeniem technologicznym



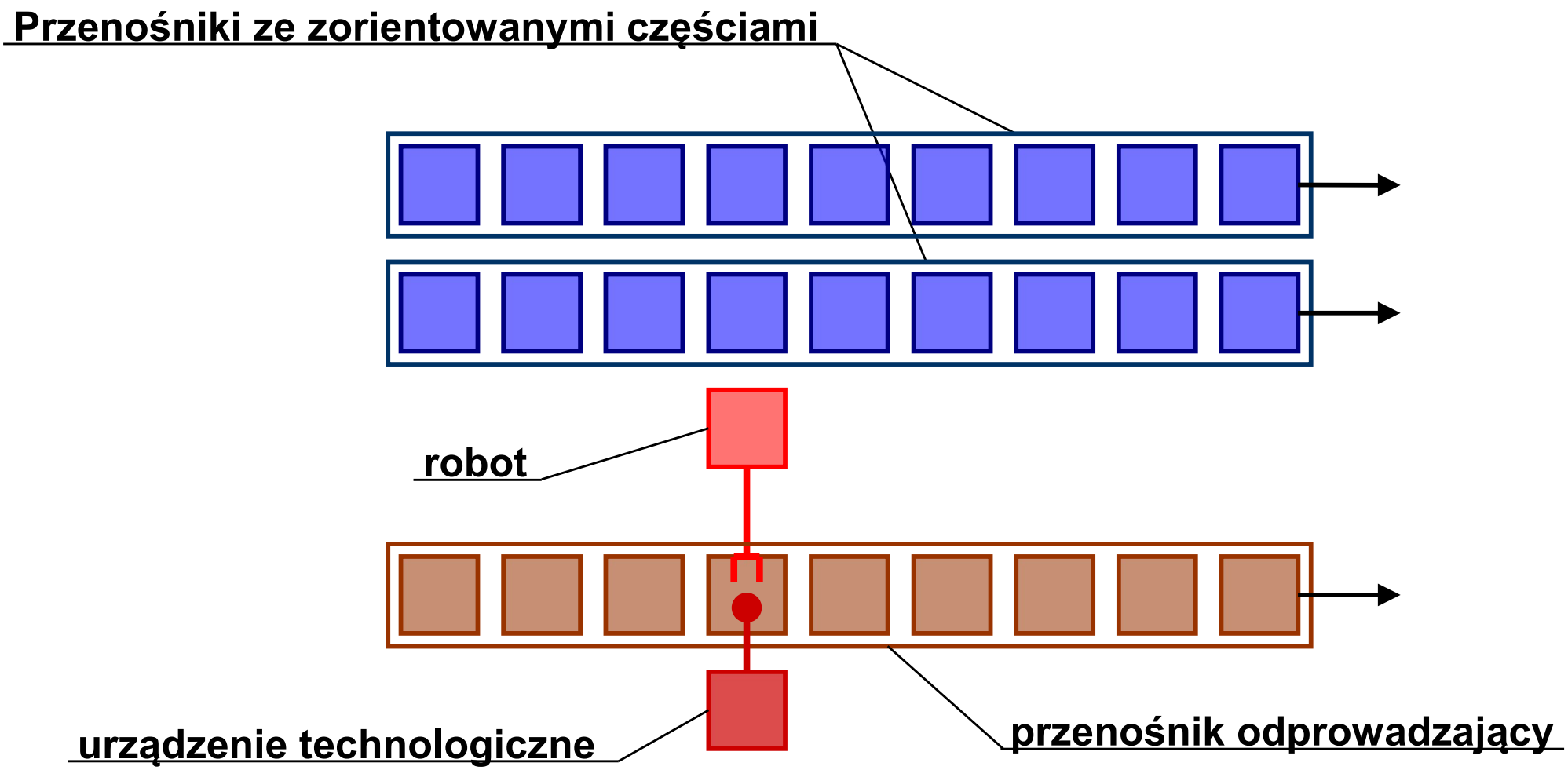
Stanowiska wykorzystywane w systemach montażowych o konfiguracji równoległej – c.d.

Stanowisko z nieruchomym stołem, jednym lub dwoma robotami stacjonarnymi i przenośnikiem



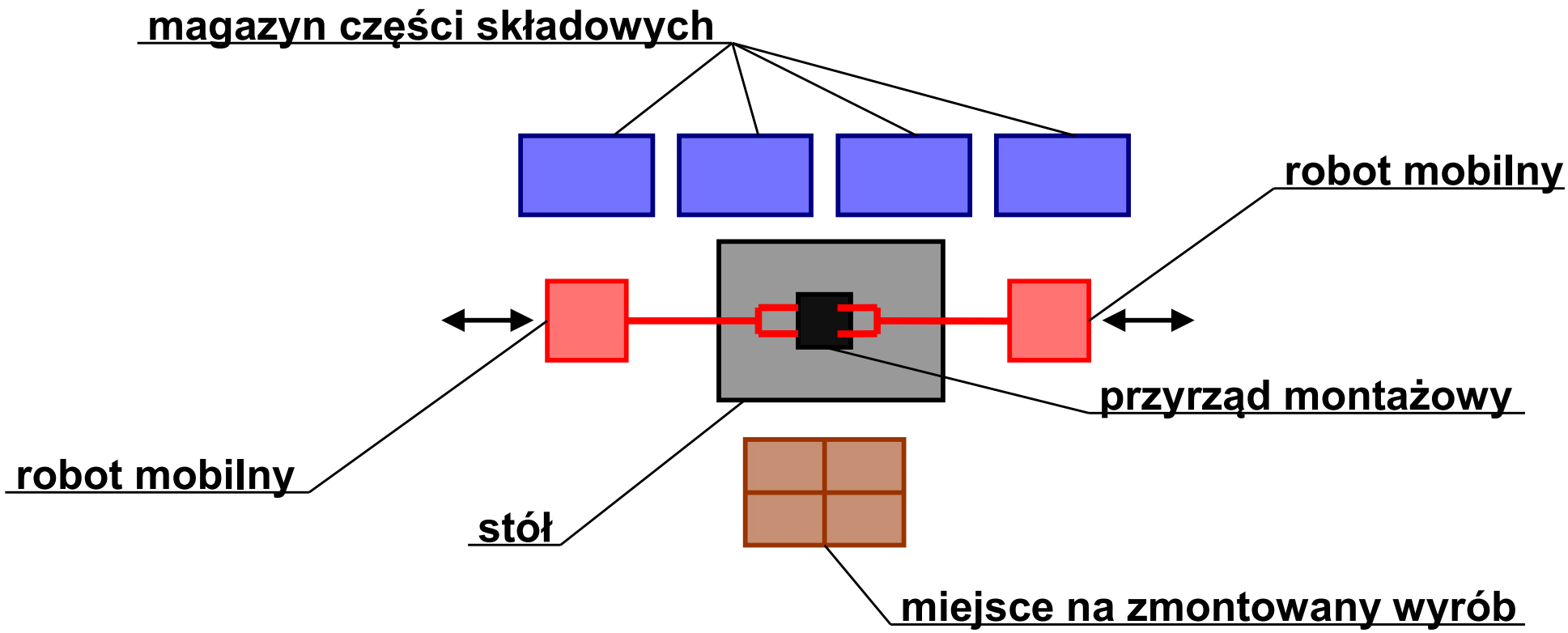
Stanowiska wykorzystywane w systemach montażowych o konfiguracji równoległej – c.d.

Stanowisko jednym robotem stacjonarnym i przenośnikami



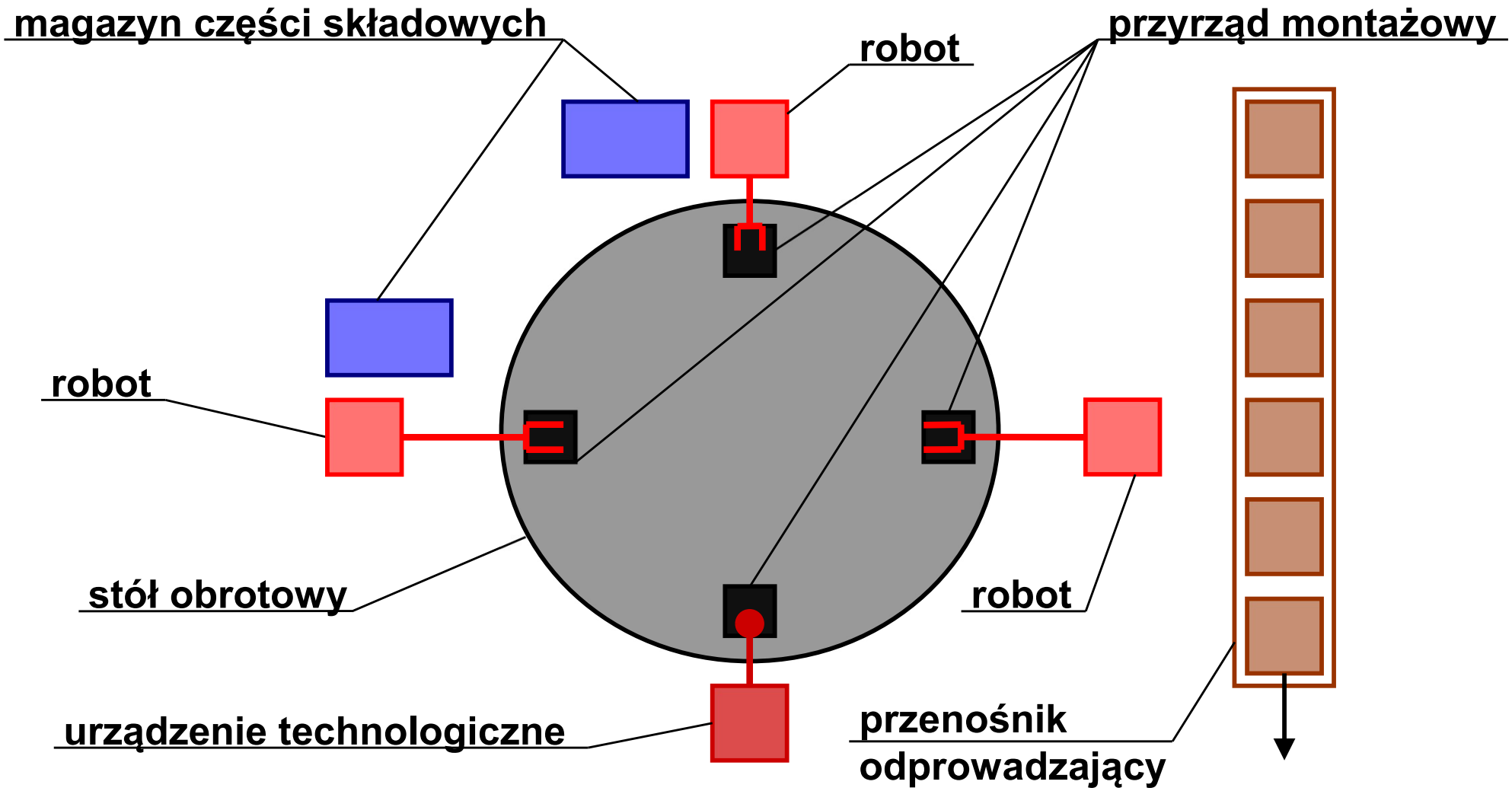
Stanowiska wykorzystywane w systemach montażowych o konfiguracji równoległej – c.d.

Stanowisko z nieruchomym stołem i dwoma robotami mobilnymi przemieszczającymi się np. na podwieszonym torze (stosowane w przypadku montażu wyrobów o dużych gabarytach)



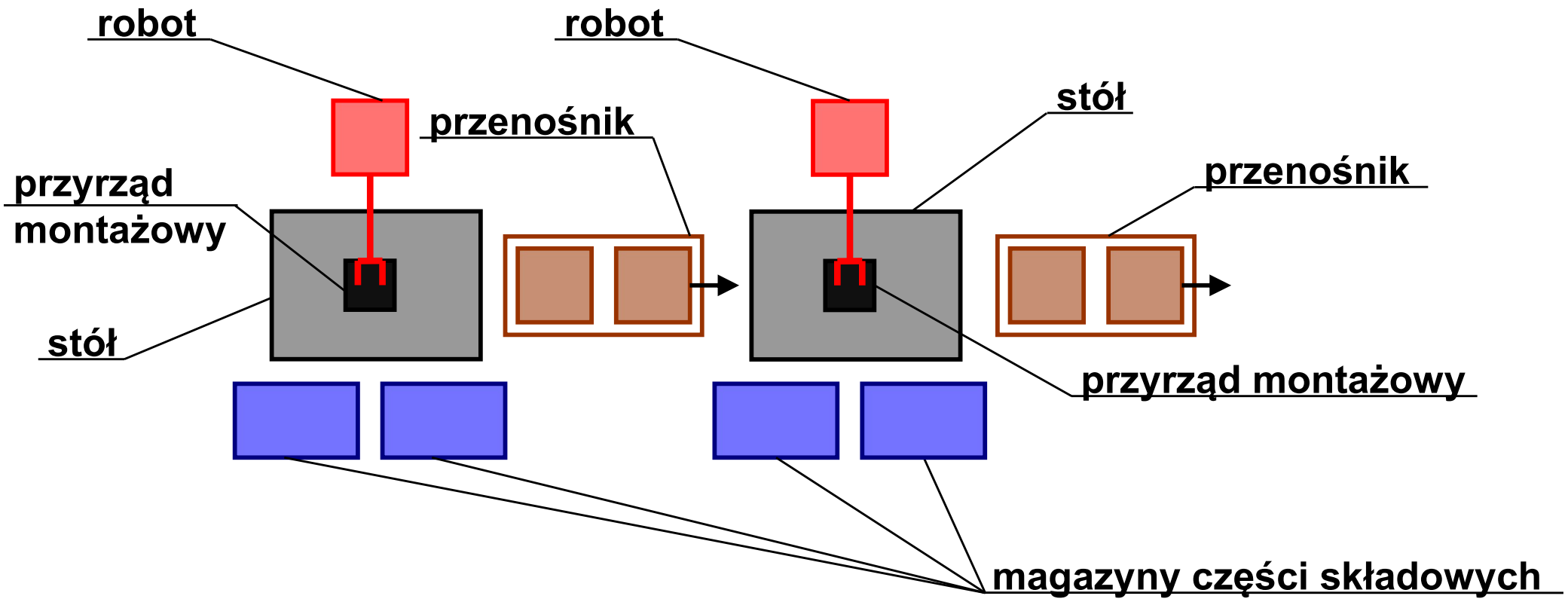
Stanowiska wykorzystywane w systemach montażowych o konfiguracji równoległej – c.d.

Stanowisko ze stołem obrotowym, robotami, urządzeniem technologicznym i przenośnikiem



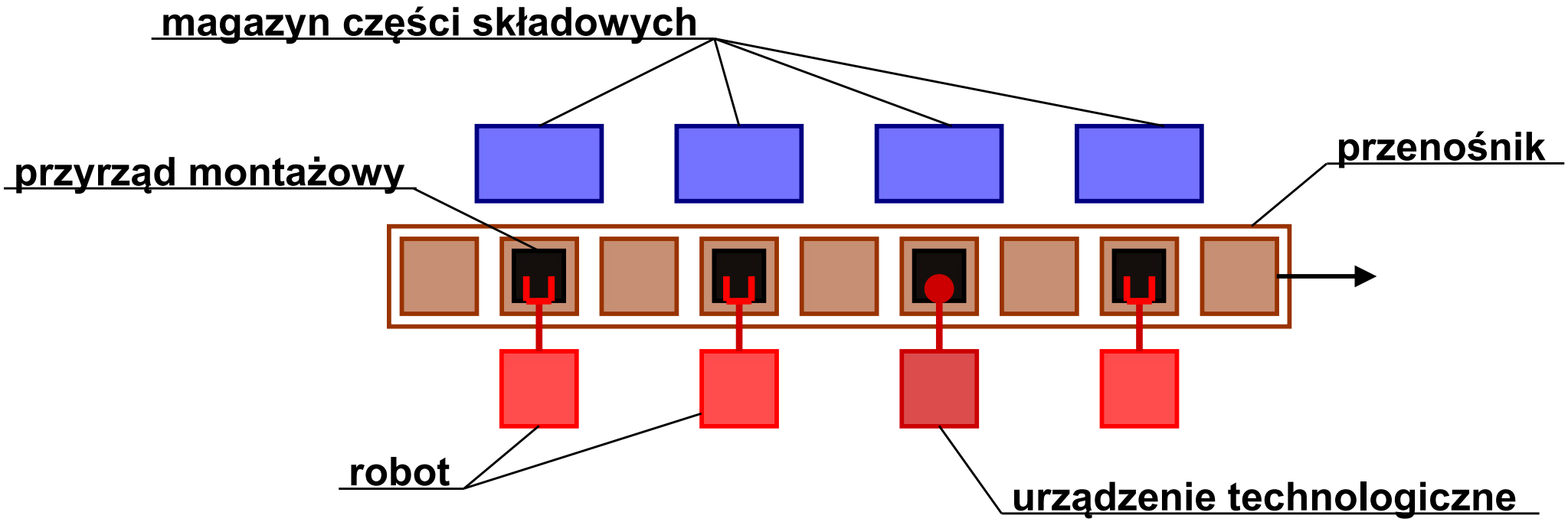
Systemy montażowe o konfiguracji szeregowej

Szeregowy system montażowy



Systemy montażowe o konfiguracji szeregowej – c.d.

Linia montażowa (produkcja masowa, wymagana jest pełna synchronizacja zadań realizowanych przez roboty z przenośnikiem)



Roboty do zadań montażowych

Typowe zadania robotów w systemach montażowych:

- **Pobieranie części z pojemników, palet lub przenośników**
- **Umieszczanie części w montowanym wyrobie**
- **Wykonywanie operacji łączenia (wciskanie, nitowanie, zgrzewanie itp.)**
- **Odkładanie zmontowanych zespołów lub wyrobów**

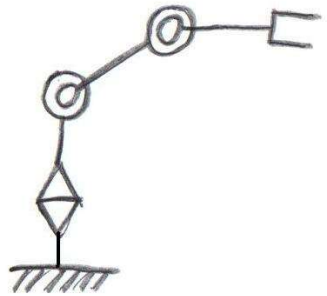
Cechy robotów stosowanych w montażu:

- **Możliwość automatycznej wymiany chwytaków i narzędzi montażowych**
- **Szeroki zakres prędkości przemieszczeń**
- **Możliwość kontroli jakości montażu**
- **Wysoka dokładność pozycjonowania lub obecność mechanizmów umożliwiających kompensację błędów podczas łączenia części**

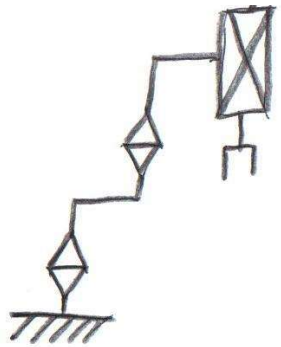
Roboty do zadań montażowych – c.d.

Typowe struktury kinematyczne robotów montażowych:

- **PUMA (programmable universal manipulator for assembly)**



- **SCARA (selectively compliant assembly robot arm)**



Typowe parametry robotów montażowych:

- **Udźwig w zakresie 2 – 10 daN (zdarzają się roboty SCARA o udźwigu do 50 daN)**
- **Zasięg manipulacji do ok. 0,5m**
- **Powtarzalność pozycjonowania od ±0,02 do ±0,05mm**
- **Prędkości ruchu elementów wykonawczych do ok. 7m/s**
- **Masa do ok. 100kg**

Układy sensoryczne w zrobotyzowanych systemach montażowych

Przyczyny stosowania układów sensorycznych:

- **Duży stopień skomplikowania prac montażowych realizowanych w ograniczonej przestrzeni roboczej**
- **Wymagana wysoka jakość (dokładność) montażu**
- **Użyteczność układów sensorycznych podczas programowania (elastyczne definiowanie pozycji)**

Układy sensoryczne w zrobotyzowanych systemach montażowych – c.d.

Operacje montażowe wymagające stosowania układów sensorycznych:

- **Składanie podzespołów z części, wymagające dokładnego pozycjonowania**
- **Łączenie części (skręcanie, wciskanie, klejenie itp.) wymagające zapewnienia poprawności połączenia**
- **Pobieranie części z magazynów, wymagające sprawdzenia obecności części na danej pozycji**
- **Segregacja części o losowej orientacji, wymagająca rozpoznania części, określenia ich pozycji oraz orientacji**
- **Sprawdzanie jakości połączeń np. połączeń lutowanych w przypadku lutowania układów elektronicznych na płytkach**

Bezpieczeństwo na zrobotyzowanych stanowiskach pracy

Zagrożenia na zrobotyzowanych stanowiskach pracy

Sytuacje możliwego bezpośredniego kontaktu operatora z robotem:

- **w czasie programowania (uczenia)**
- **podczas pracy robota**
- **podczas napraw i konserwacji**

Czynniki mające wpływ na stopień zagrożenia wypadkiem:

- **Rozmieszczenie urządzeń współpracujących**
- **Instalacja przycisków „stop bezpieczeństwa”**
- **Oznakowanie stref niebezpiecznych i ograniczenie dostępu do nich**
- **Dobór pracowników pod względem kwalifikacji**
- **Odłączanie zasilania podczas prac konserwacyjnych**
- **Ograniczenie prędkości poszczególnych napędów podczas programowania (uczenia) robota**
- **Monitorowanie stanowiska w czasie rzeczywistym**

Przyczyny wypadków przy pracy w systemach zrobotyzowanych

Przyczyna:	% przypadków:
Niepoprawny ruch robota podczas programowania	16,6
Niewłaściwy ruch robota podczas testowania programu	16,6
Błąd innego obiektu systemu podczas testowania	16,6
Błędy podczas regulacji i napraw	16,6
Pojawienie się człowieka w strefie roboczej robota	11,2
Nieprawidłowy ruch robota podczas realizacji programu	5,6
Błąd innego obiektu podczas pracy systemu	5,6
Inne	11,2

Przyczyny nieoczekiwanego niepoprawnego działania robota

Przyczyna:	%sytuacji	%wypadków:
Defekt części elektronicznych	52,2	23,9
Defekt części mechanicznych	8,5	5,3
Defekt urządzenia współpracującego z robotem	7,16	6,19
Defekt połączenia robot – urządzenie	3,75	8,0
Zanieczyszczenie powietrza, oleju, zakłócenia elektryczne	1,71	0,9
Wypuszczenie przedmiotu przez robota	7,51	16,8
Mylna decyzja operatora	18,4	38,1
Inne	0,88	0,81

Zasady bezpiecznej integracji robota z systemem

- **Tylko robot (oprócz operatora) może wysyłać rozkazy do współpracujących z nim urządzeń technologicznych**
- **Robot musi mieć zapewnione na bieżąco informacje o aktualnym stanie urządzeń współpracujących**
- **Robot musi być blokowany w momencie pojawienia się człowieka w jego strefie roboczej**
- **Operator musi dysponować pełną informacją na temat stanu systemu jako całości, mieć możliwość ingerencji w jego pracę, zwłaszcza przy uruchamianiu nowych programów i w sytuacjach awaryjnych**

Zasady te mogą być realizowane sprzętowo, bądź programowo (zawsze powinny być jednak dodatkowe zabezpieczenia sprzętowe).

Systemy ochronne na stanowiskach zrobotyzowanych

Podział systemów ochronnych:

- **Poziom 1: wykrywanie obecności człowieka na granicy stanowiska zrobotyzowanego (powszechnie realizowane w przemyśle)**
- **Poziom 2: wykrywanie obecności człowieka w obszarze stanowiska zrobotyzowanego (dwa warianty: poza zasięgiem ruchów robota i wewnątrz strefy ruchu robota)**
- **Poziom 3: wykrywanie obecności człowieka podczas bezpośredniego kontaktu z robotem lub w niewielkiej odległości od ramienia robota np. ochrona podczas programowania, testowania i konserwacji**

Sposoby detekcji obecności człowieka

- Detekcja promieniowania mikrofalowego odbijającego się od poruszającego się człowieka (efekt Dopplera)
- Kurtyny fotoelektryczne (detekcja przerwania ciągłości wiązek promieniowania świetlnego, głównie podczerwonego). Kurtyna może się składać z wielu równoległych wiązek lub jednej wiązki ruchomej
- Detekcja podczerwieni pasywnej (promieniowania emitowanego przez ciało ludzkie)
- Detekcja podczerwieni aktywnej (promieniowania odbitego od wykrywanego obiektu)
- Systemy wizyjne (mogą uwzględniać algorytmy przewidujące potencjalne zagrożenia)
- Detekcja zmian pojemności elektrycznej (zmian przenikalności dielektrycznej środowiska wywołanych pojawieniem się człowieka w obszarze pracy czujników)

Sposoby detekcji obecności człowieka – c.d.

- Maty naciskowe
- Detekcja promieniowania ultradźwiękowego (odbitego od obiektu)
- Skanery laserowe (umożliwiają też określenie odległości od obiektu)
- Czujniki siły wbudowane w przeguby robota

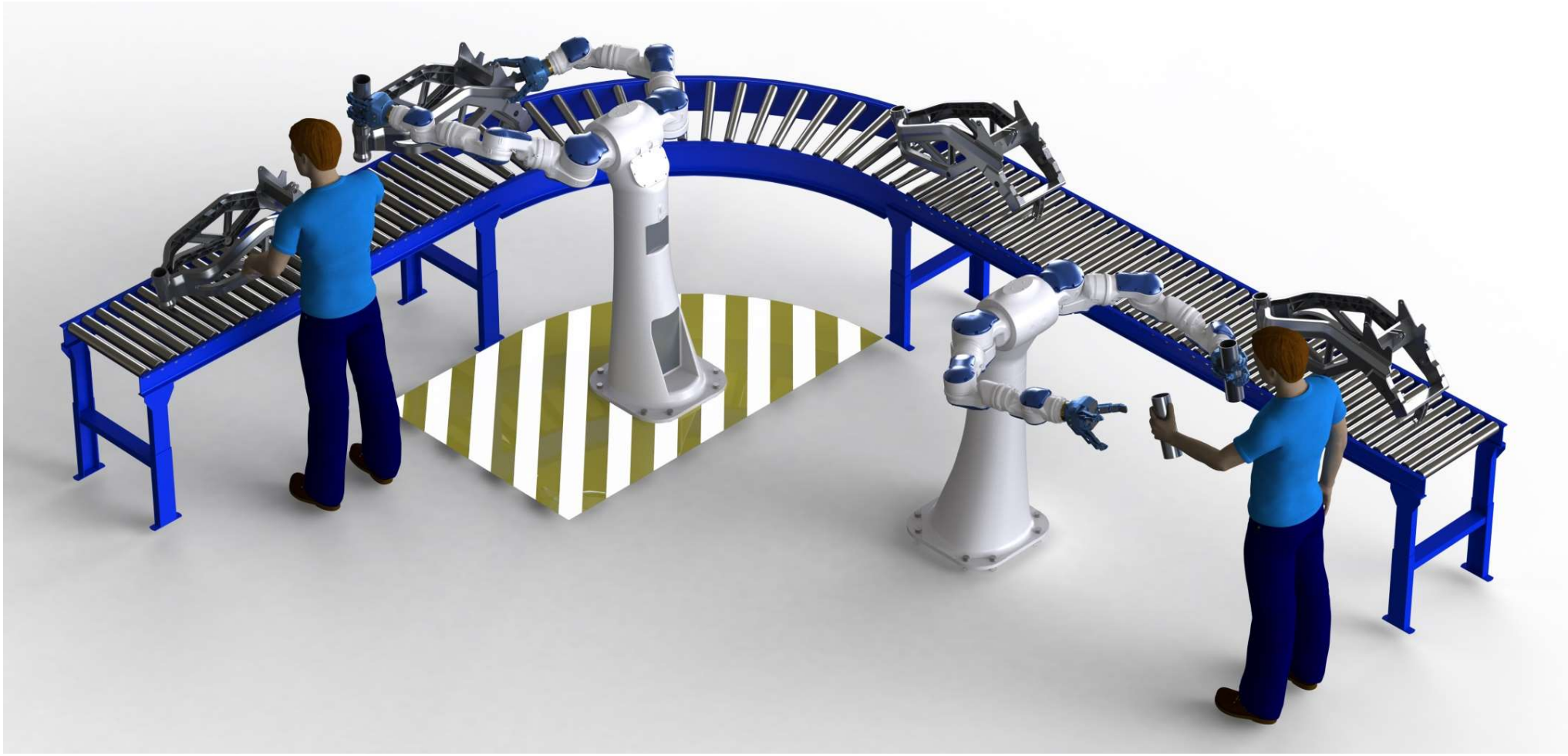
Ostatni punkt przenosi nas w dziedzinę

ROBOTÓW WSPÓŁPRACUJĄCYCH

Roboty współpracujące

Roboty współpracujące – koncepcja

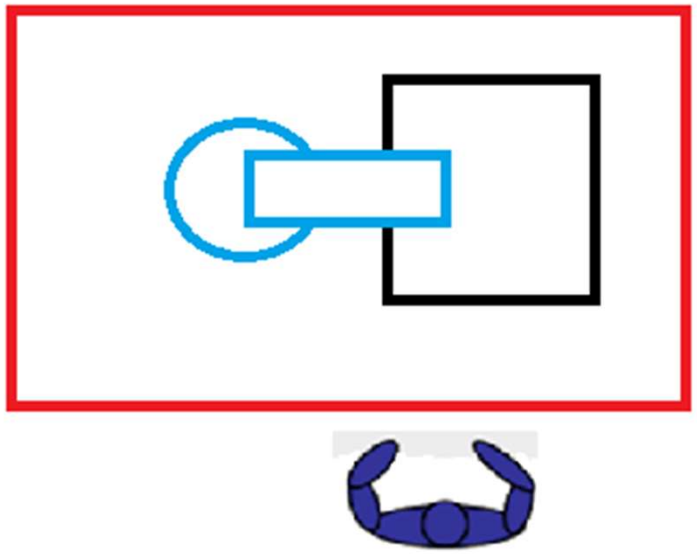
- **Roboty współpracujące są to zaawansowane maszyny manipulacyjne, które pracują wspólnie z istotami ludzkimi w tej samej strefie roboczej, pomagają i odciążają operatora (IFA).**
- **COBOTS = COllaborative roBOTS**



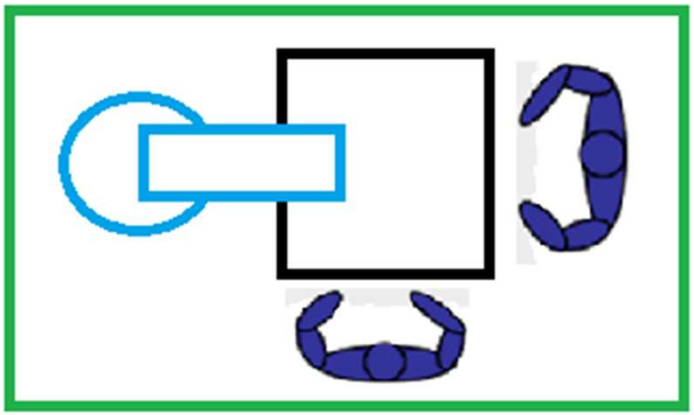
Źródło: Yaskawa (na podstawie https://insights.globalspec.com/article/621/collaborative-robots-play-nice-on-the-plant-floor)

Rezultaty stosowania robotów współpracujących

- **Uzyskanie synergetycznych efektów poprzez powstawanie realizujących wspólne cele zespołów roboczych ludzie – maszyny**
  - **Mocne strony robota: powtarzalność, większa siła, brak zmęczenia**
  - **Mocne strony człowieka: twórcze podejście elastyczność, rozwinięte zmysły**
- **Zniesienie granicy pomiędzy przestrzenią roboczą maszyny i człowieka**
  - **Oszczędność miejsca na hali produkcyjnej (brak konieczności wykorzystywania kurtyn bezpieczeństwa, minimalizacja pustych przestrzeni)**
  - **Konieczność zapewnienia bezpieczeństwa człowiekowi**



STANDARDOWY ROBOT PRZEMYSLOWY



ROBOT WSPOLPRACUJĄCY

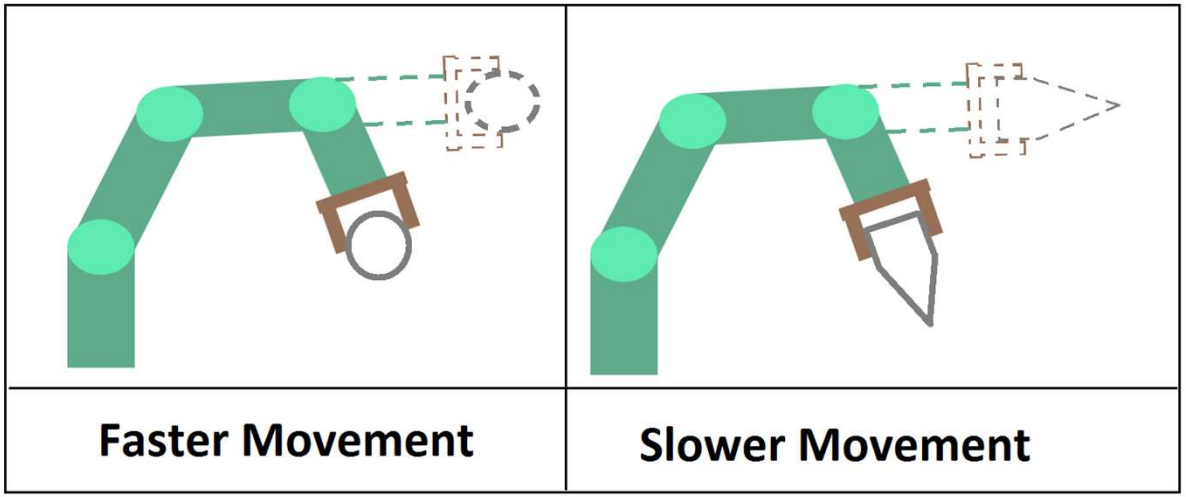
Wspólna przestrzeń robocza człowieka i robota

Źródło: https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/13485/Rethink-Robotics-Signs-Exclusive-Distribution-Deal-in-China.aspx

Roboty współpracujące a bezpieczeństwo pracy

W przypadku robotów współpracujących dopuszcza się kontakt (kolizję) człowieka z robotem, jednak w rezultacie tego kontaktu nie może nastąpić zagrożenie dla życia i zdrowia człowieka:

- **Norma ISO/TS 15066 z roku 2015: wytyczne projektowania i wdrażania wspólnych przestrzeni roboczych dla człowieka i robota, określające wynikające z tej współpracy ryzyko**
- **Określenie limitów prędkości i mocy, dozwolonych w przypadku kontaktu robota z człowiekiem**
- **Indywidualna analiza ryzyka dla każdego stanowiska, uwzględniająca m.in. otoczenie robota i kształty przedmiotów przez niego przemieszczanych**



Roboty współpracujące a bezpieczeństwo pracy – c.d.

Rozwiązania konstrukcyjne mające na celu uniknięcie wypadków przy pracy:

- **Przeguby robota wyposażone w czujniki rozwijanej siły**
- **Brak ostrych krawędzi na obudowie robota i jego efektorze**
- **Minimalizacja masy poszczególnych członów robota**
- **Zmniejszenie mocy napędów (mniejsza masa silników)**

Konsekwencje:

- **Mniejszy udźwig**
- **Mniejsze prędkości realizowanych ruchów**

Dodatkowe korzyści wynikające ze stosowania wbudowanych czujników siły:

- **Zapewnienie stałej siły nacisku w niektórych procesach (np. polerowaniu)**
- **Wykorzystanie czujnika siły do elastycznego sterowania ruchami robota**

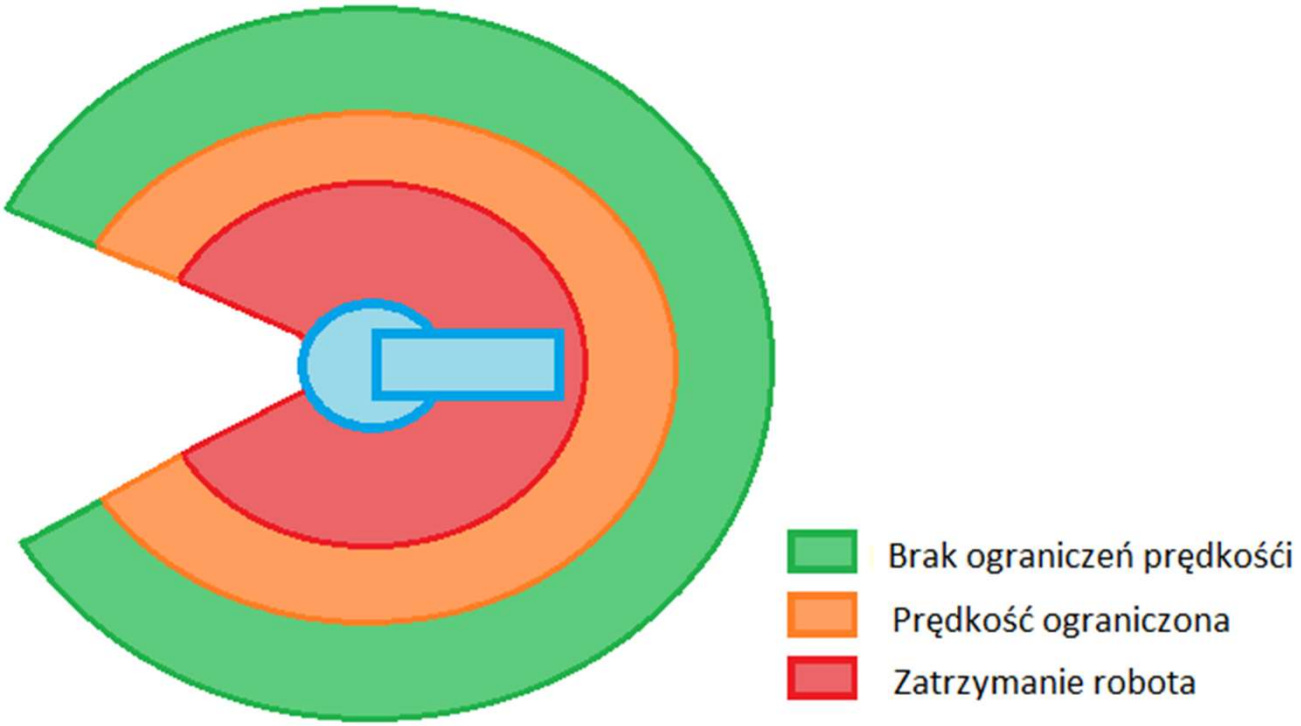
Przykład wykorzystania czujnika siły do sterowania ruchami robota

https://www.youtube.com/watch?v=szgvFYIY5ps **(9-83)**

Roboty współpracujące a bezpieczeństwo pracy – c.d.

Rozwiązania związane ze sterowaniem robota współpracującego:

- **Zastosowanie systemu sensorów określających położenie człowieka i/lub kierunek jego przemieszczania się (np. system wizyjny)**
- **Programowe dostosowanie parametrów pracy robota do bieżącej sytuacji**



Zapewnienie komfortu użytkownikowi robotów współpracujących

- **Przybliżenie powierzchowności robota (wyglądu) do człowieka**
  - **Ręce**
  - **Oczy**
  - **Ograniczenia możliwych przemieszczeń**
- **Stosowanie miękkich materiałów na obudowie w celu minimalizacji skutków możliwych kolizji**
- **Zapewnienie odpowiedniej odległości pomiędzy człowiekiem i robotem**
- **Zastosowanie „oczu” wyświetlanych na monitorze jako wskaźnika kolejnego punktu docelowego osiąganego przez efektor robota**

Żródło: Rethink Robotics (na podstawie https://insights.globalspec.com/article/621/collaborative-robots-play-nice-on-the-plant-floor)

Zastosowania robotów współpracujących

- Zadania manipulacyjne typu „pick and place”
- Obsługa obrabiarek CNC
- Polerowanie
- Spawanie
- Klejenie
- Kontrola jakości
- Inne…

Zadania manipulacyjne „pick and place”

- **Robot częściowo odciąża człowieka**
- **Znaczna minimalizacja potrzebnej przestrzeni roboczej**
- **Komfort pracy (człowiek wyznacza tempo)**

Robot uczestniczy w montażu

https://www.youtube.com/watch?v=gFLu5ktrVHo (143-191)

Źródło: Universal Robots

Obsługa obrabiarek CNC

- **Robot wykonuje powtarzalne, nużące czynności**
  - **Człowiek może skupić się na ważniejszych zadaniach np. kontroli procesu skrawania**
- **Obsługa kilku obrabiarek przez jednego robota**
  - **Oszczędność miejsca na hali produkcyjnej**
  - **Oszczędność czasu**

Źródło: Universal Robots

Obsługa obrabiarek CNC – c.d.

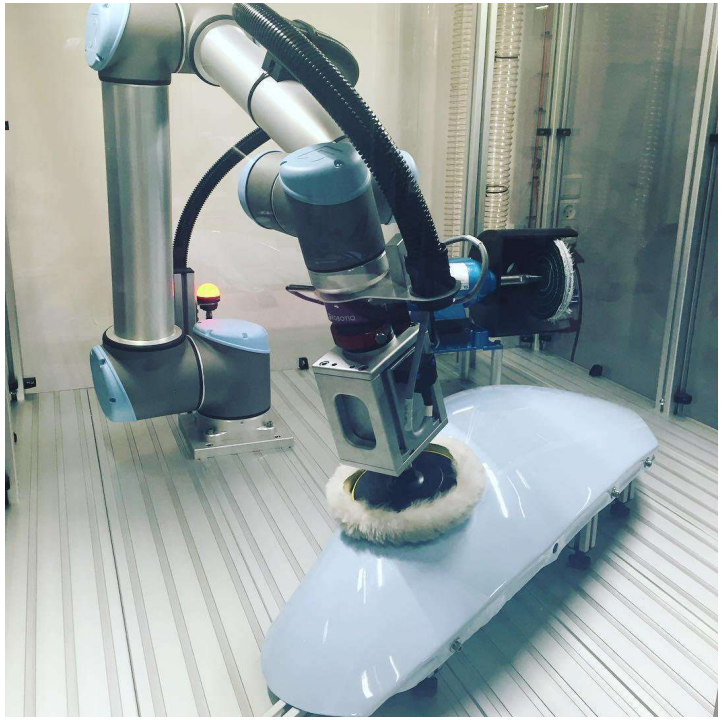
Istotną cechą robotów współpracujących jest ich potencjalna mobilność tj. możliwość wykorzystywania na różnych stanowiskach roboczych, w zależności od aktualnych potrzeb

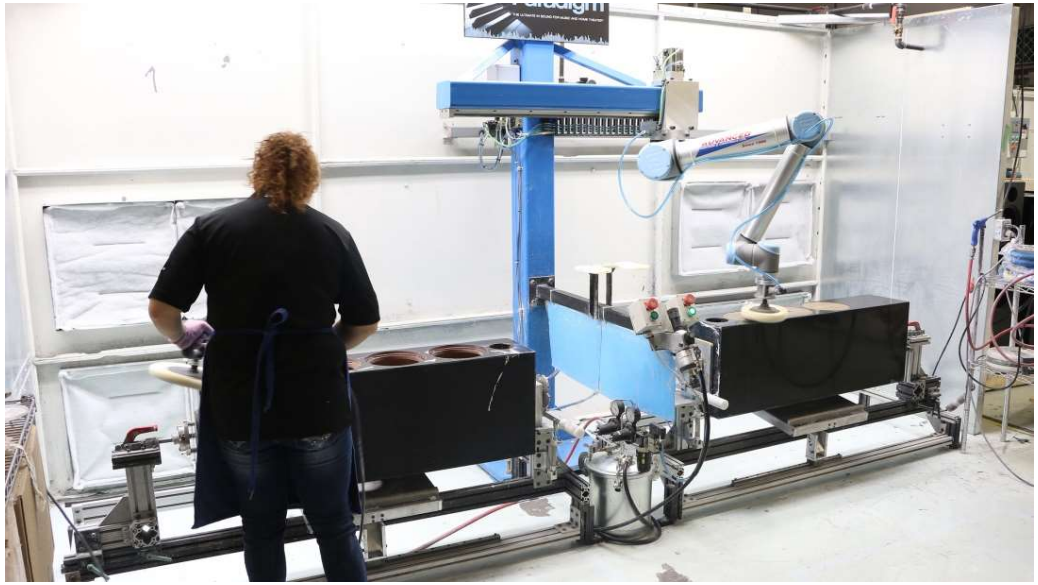
Przenośny robot obsługujący obrabiarki CNC

https://www.youtube.com/watch?v=kXK5bRnRrWo (10-143)

Polerowanie

- Odciążenie człowieka od powtarzalnych i nużących czynności
- Wykorzystanie czujników siły wbudowanych w przeguby robota
- Lepsza jakość i powtarzalność polerowanych powierzchni





Robot współpracujący realizujący polerowanie

https://www.youtube.com/watch?v=kOPVvYapEIQ (116-188)

Źródło: Universal Robots

Spawanie

- **Usprawnienie procesu programowania (programowanie przez demonstrację)**
- **Możność wykorzystania dedykowanych funkcji spawalniczych**

Wykorzystanie robota współpracującego do spawania

https://www.youtube.com/watch?v=t3_-fUYqa60 (0-82)

- **Robot jako pozycjoner**

Robot współpracujący w roli inteligentnego pozycjonera przy spawaniu

https://www.youtube.com/watch?v=Kxw-SJd-j-o (46-475)

Źródła: Universal Robots, KUKA, Scottautomation.com, Tampere University of Technology

Programowanie przez demonstrację

Programowanie przez demonstrację może być stosowane nie tylko w przypadku robotów współpracujących.

Polega ono na rejestrowaniu przez odpowiednie sensory (np. system wizyjny) procesu realizacji przykładowego zadania przez człowieka, a następnie inteligentne naśladowanie człowieka przez robota w sposób dostosowany do aktualnych warunków (otoczenia).

W najprostszej wersji może to być „uczenie przez demonstrację”, polegające na ręcznym prowadzeniu efektora robota do założonych pozycji.

Rozwiązania konstrukcyjne ułatwiające programowanie przez demonstrację

- **Możliwość całkowitego „zwolnienia” napędów poszczególnych osi robota**
- **Umożliwienie przesuwania efektora przez operatora tylko po określonych liniach (zwłaszcza liniach prostych)**

Przykład uczenia przez demonstrację

https://www.youtube.com/watch?v=r7gU74Yv9Es (0-83)

Inne zastosowania robotów współpracujących

Różne przykłady zastosowań robotów współpracujących

https://www.youtube.com/watch?v=5K5VYm8z4nY (2-460)