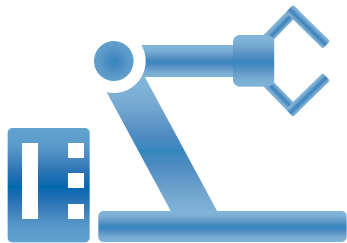


# Automatyka i robotyka przemysłowa



## Podstawy robotyki

roboty przemysłowe – pojęcia podstawowe  
budowa mechaniczna i geometria manipulatora  
opis pozycji i orientacji w przestrzeni  
planowanie ruchów robota

## Robotyzacja

Wprowadzenie do procesu produkcyjnego manipulatorów, robotów i urządzeń pomocniczych, które wykonują operacje z ograniczonym udziałem lub bez udziału człowieka. Robotyzacja może dotyczyć zarówno procesów technologicznych (obróbka mechaniczna, cieplna, montaż, itp.) jak i procesów pomocniczych (dostarczenie materiałów, odbiór wyrobów gotowych, magazynowanie, kontrola jakości).

## Robotyka

Dziedzina nauki i techniki zajmująca się robotami, ich projektowaniem, sterowaniem, pomiarami zachowań, zastosowaniami i eksploatacją.

## EN ISO 8373:2021 Robotyka - terminologia

Norma międzynarodowa wprowadzająca terminologię oraz definicje pojęć dotyczących robotyki. Ostatnia polska wersja tej normy PN-EN ISO 8373:2001 (Roboty przemysłowe – Terminologia) została wycofana. Pozostałe normy związane z robotyką:

- ISO 9409-1 i 2: Sterowanie robotami przemysłowymi – interfejsy mechaniczne
- ISO 9787: Roboty i urządzenia robotyczne – Układy współrzędnych i ruchy
- ISO 10218-1 i 2: Roboty i urządzenia robotyczne – Wymagania bezpieczeństwa dla robotów przemysłowych

## Robot

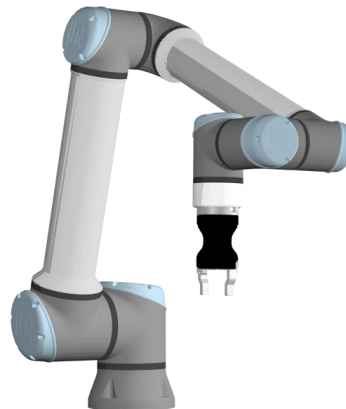
Mechanizm programowalny (z uwzględnieniem systemu sterowania) o pewnym stopniu autonomii, wykonujący zadania lokomocyjne, manipulacyjne lub pozycjonujące.

## Autonomia

Zdolność do wykonywania zadań bez interwencji człowieka (w oparciu o aktualny stan i odczyty czujników). Stopień autonomii można ocenić na podstawie jakości podejmowania decyzji i niezależności od człowieka

## Układ sterowania, Kontroler robota

Elementy sprzętowe i programowe realizujące sterowanie logiką i napędami oraz funkcje umożliwiające monitorowanie i kontrolowanie zachowania robota oraz jego interakcji i komunikacji z innymi obiektami i ludźmi w jego otoczeniu.



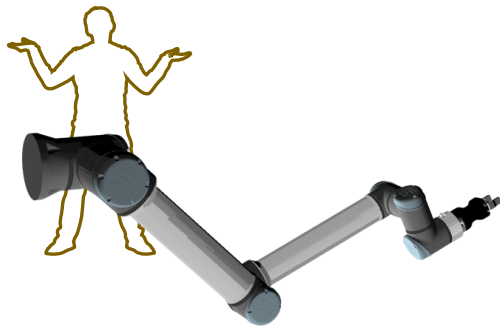
## Technologia robotyczna

Wiedza praktyczna powszechnie stosowana w projektowaniu robotów lub ich systemów sterowania, szczególnie w celu zwiększenia ich stopnia autonomii.

## Urządzenie robotyczne

Mechanizm opracowany w technologii robotycznej, ale nie posiadający wszystkich cech robota (np. brak autonomii).

## Przykłady urządzeń robotycznych



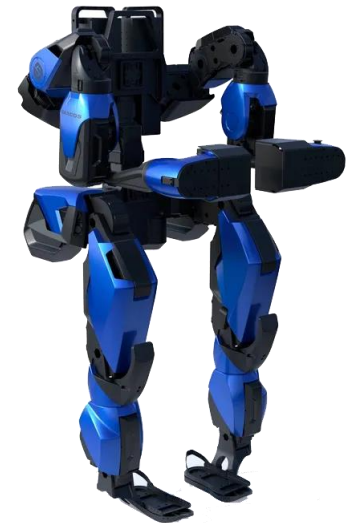
Teleoperator  
(manipulator zdalny)



Urządzenie haptyczne  
(urządzenie dotykowe)



Efektor



Egzoszkielec

## Robot przemysłowy

Automatycznie sterowany, reprogramowalny, uniwersalny manipulator, programowany w trzech lub więcej osiach, który może być zamocowany na stałe albo na platformie mobilnej, przeznaczony do zastosowania w aplikacjach automatyki przemysłowej.

Robot przemysłowy zawiera:

- manipulator, wraz z napędami
- układ sterowania
- środki do uczenia i/lub programowania w tym interfejsy komunikacyjne.

## System robota przemysłowego, System robota

System złożony z robota przemysłowego, efektora, czujników i wyposażenia efektorów (np. systemów wizyjnych, dozowników kleju, kontrolerów zgrzewania) potrzebnych do realizacji zamierzonego zadania, oraz programu.

# EN ISO 8373:2021 – Budowa mechaniczna robota

## Efektor

Urządzenie mocowane do interfejsu mechanicznego robota umożliwiające wykonanie zadania postawionego przed robotem.

## Chwytnak

Efektor przeznaczony do chwytania i przytrzymywania.

## Interfejs mechaniczny

Powierzchnia montażowa na końcu manipulatora, do której mocowany jest efektor.

## Przykłady



*chwytnak*



*pistolet spawalniczy*



*pistolet natryskowy*

Typ

Zastosowanie

Przykłady

2-palczaste

chwyt obiektów o regularnych kształtach



3-palczaste

chwyt obiektów o zróżnicowanych kształtach i rozmiarach



podciśnieniowe

chwyt obiektów o nieregularnych kształtach

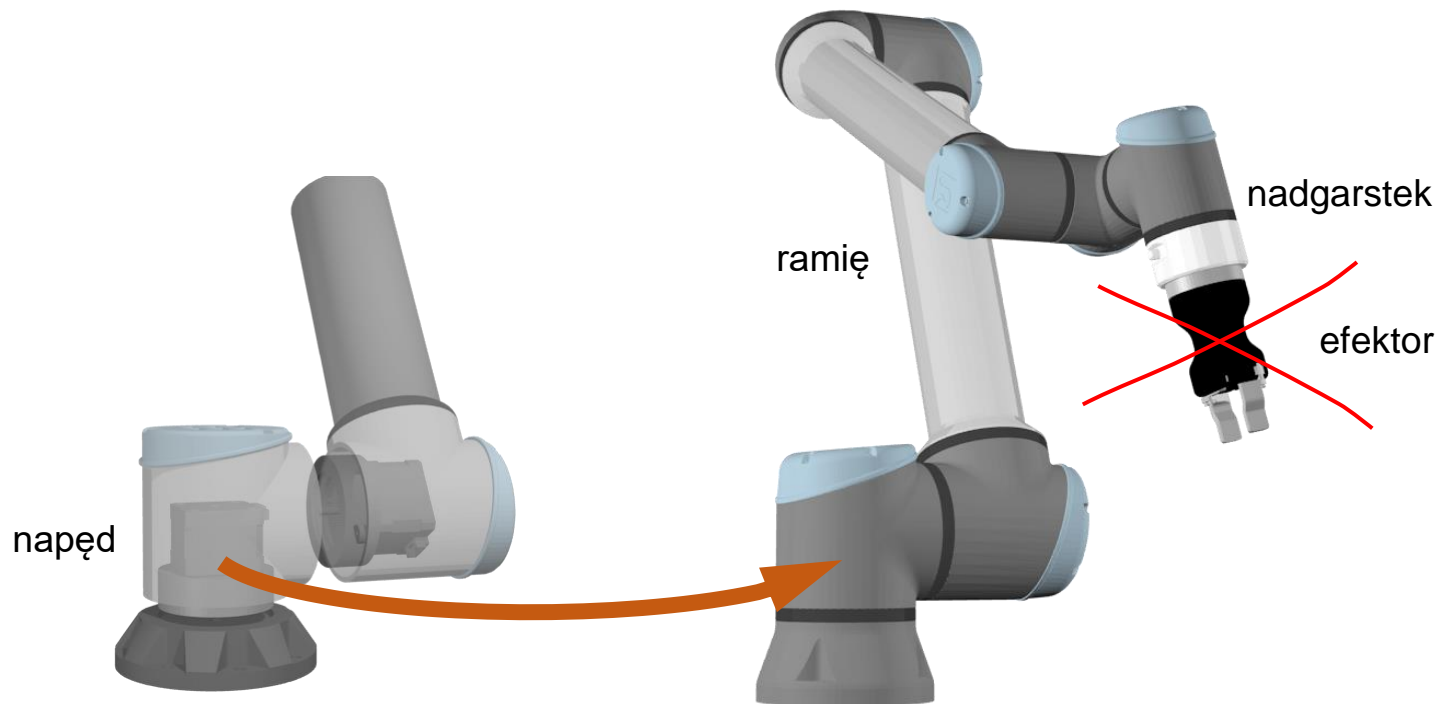


Typ	Zastosowanie	Przykłady
magnetyczne	transport elementów ferromagnetycznych	
specjalizowane	transport elementów o nietypowych kształtach lub rozmiarach	



## Manipulator

Mechanizm składający się z układu segmentów, które są ze sobą połączone lub przesuwiają się względem siebie. W skład manipulatora wchodzi napęd, ramię i nadgarstek. Efektor nie jest składnikiem manipulatora.



# EN ISO 8373:2021 – Budowa mechaniczna robota

## Podstawa

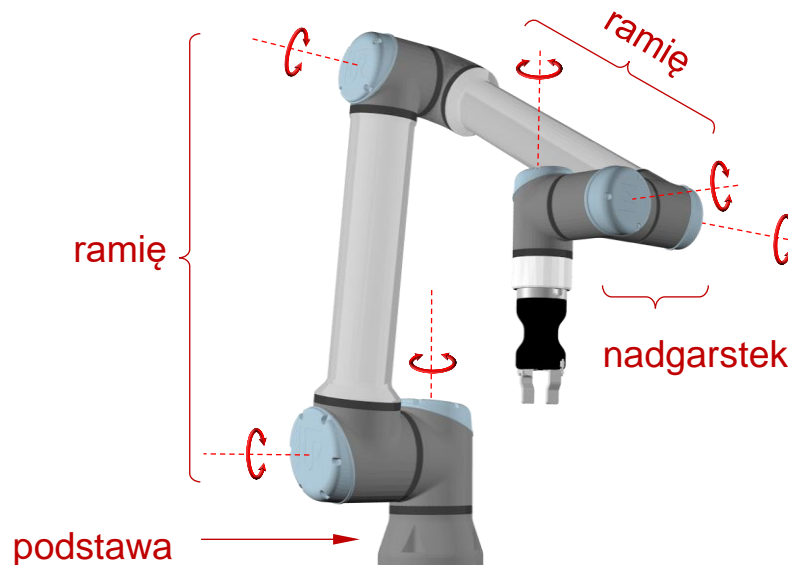
Konstrukcja, do której przymocowane jest pierwszy człon manipulatora.

## Ramię

Zbiór członów i napędzanych połączeń pomiędzy podstawą a nadgarstkami.

## Nadgarstek

Zbiór członów i napędzanych połączeń manipulatora pomiędzy ramieniem a efektem.



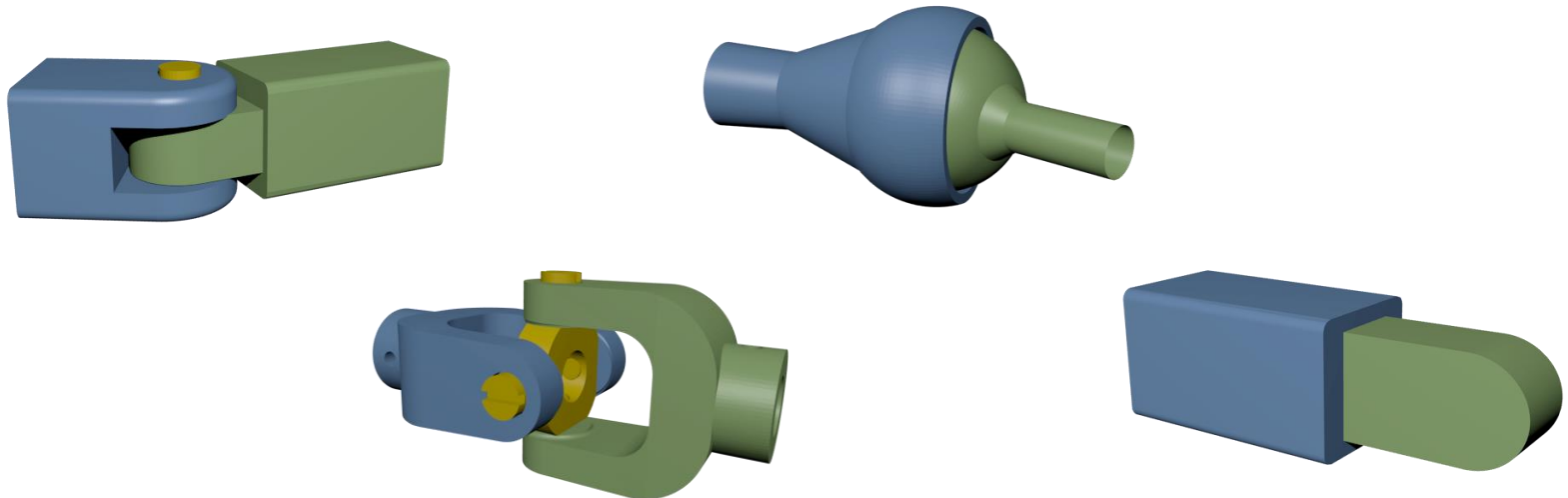
## Człon

Ciało sztywne połączone z jednym lub większą liczbą ciał sztywnych za pomocą połączeń ruchowych (par kinematycznych, węzłów kinematycznych, przegubów).

## Para kinematyczna, Węzeł kinematyczny, Przegub

Połączenie ruchowe dwóch członów mechanizmu umożliwiające ograniczony ruch względny pomiędzy nimi.

*Uwaga: połączenie ruchowe może być aktywne/napędzane, albo pasywne/nienapędzane.*

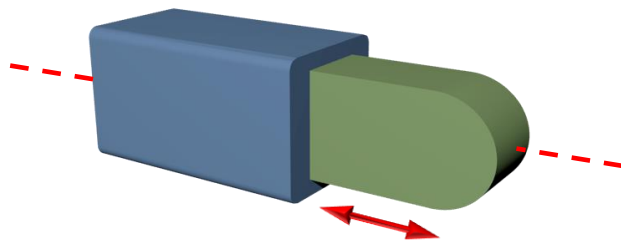


## Para pryzmatyczna, Para przesuwna (P)

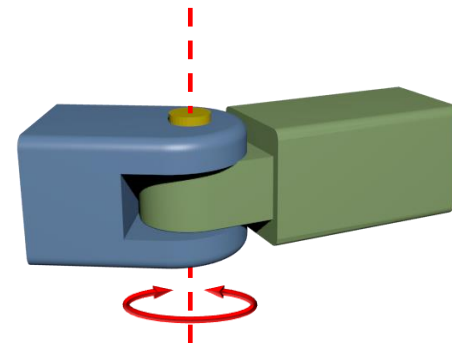
Połączenie dwóch członów, w którym jest możliwy jedynie ruch liniowy jednego członu względem drugiego.

## Para obrotowa (R)

Połączenie dwóch członów, w którym jest możliwy jedynie obrót jednego członu względem drugiego wokół stałej osi.



*para pryzmatyczna*

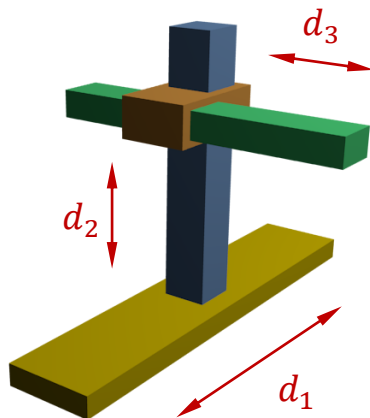


*para obrotowa*

**Uwaga:** ciąg oznaczeń kolejnych typów połączeń członów określa typ konstrukcji robota, np.  
RPR – robot o 3 połączeniach, pierwsze i ostatnie obrotowe, drugie pryzmatyczne,  
6R – 6 połączeń obrotowych, 3P – 3 połączenia pryzmatyczne.

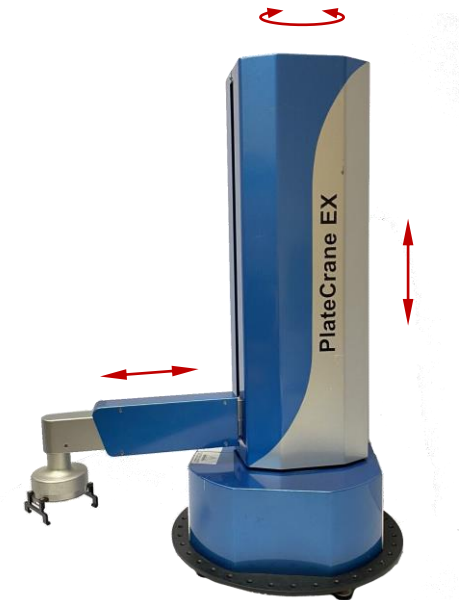
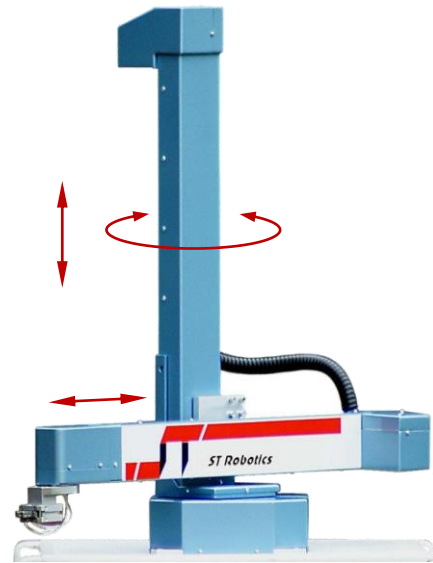
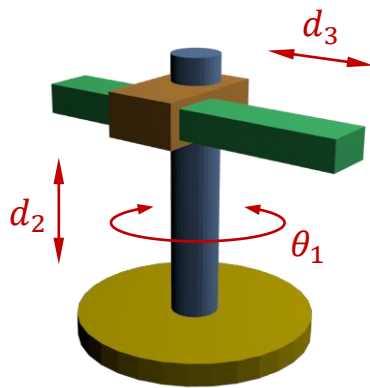
## Robot kartezjański – PPP

manipulator posiadający trzy przeguby pryzmatyczne, których osie tworzą kartezjański układ współrzędnych



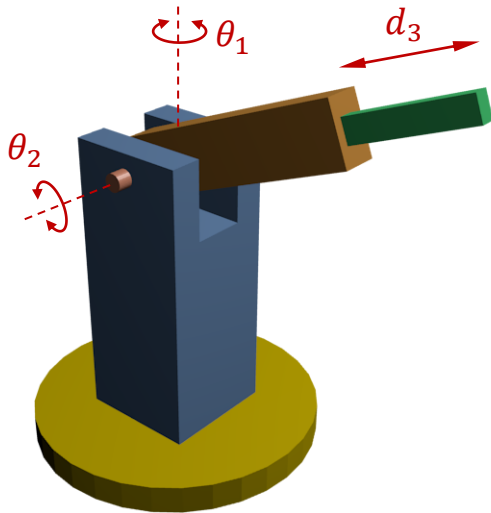
## Robot cylindryczny – RPP

robot posiadający przynajmniej po jednym przegubie obrotowym i pryzmatycznym, których osie tworzą cylindryczny układ współrzędnych



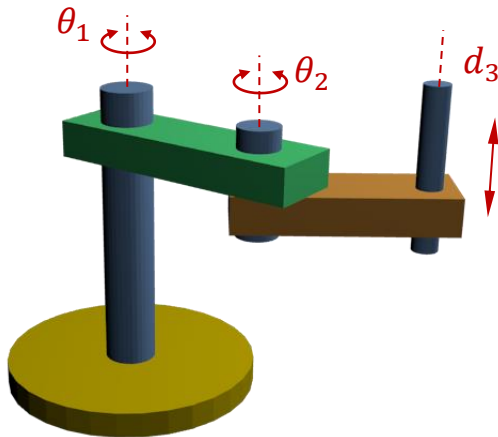
## Robot sferyczny – RRP

manipulator posiadający dwa przeguby obrotowe i jeden przymatyczny, których osie tworzą kartezjański układ współrzędnych



## Robot typu SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) – RRP

manipulator posiadający dwa przeguby obrotowe o osiach równoległych oraz przegub pryzmatyczny





# Typowe konstrukcje robotów

## Roboty przemysłowe o sześciu stopniach swobody – 6R

Wzorowane na górnej kończynie człowieka, zazwyczaj z sześcioma połączeniami obrotowymi: trzy przeguby ramienia (podstawa, bark, łokieć) i trzy w nadgarstku.



# EN ISO 8373:2021 – Geometria i kinematyka

## Globalny układ współrzędnych

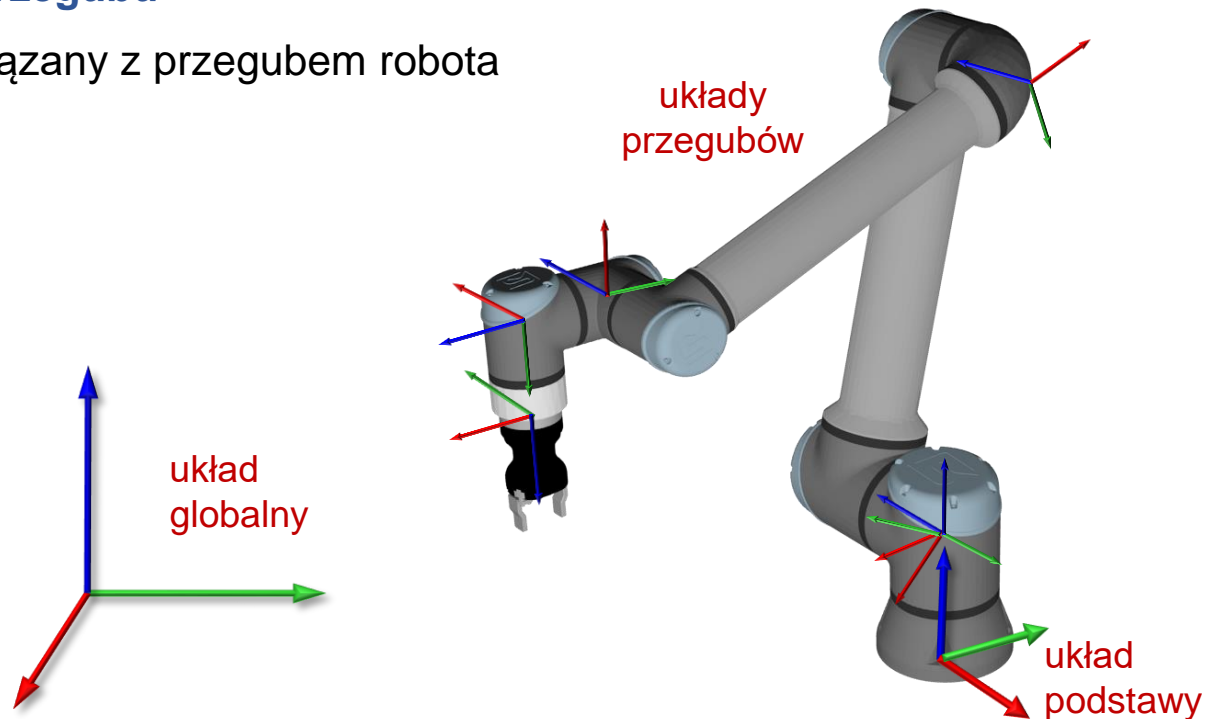
Nieruchomy układ współrzędnych związany z ziemią, niezależny od ruchu robota

## Układ współrzędnych podstawy

Nieruchomy układ współrzędnych związany z podstawą robota

## Układ współrzędnych przegubu

Układ współrzędnych związany z przegubem robota



## Układ współrzędnych interfejsu mechanicznego

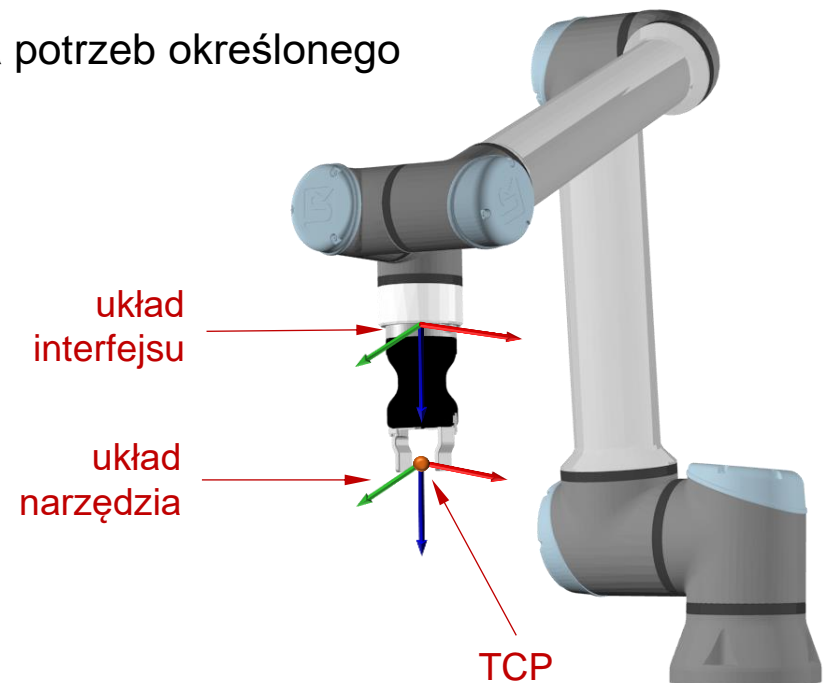
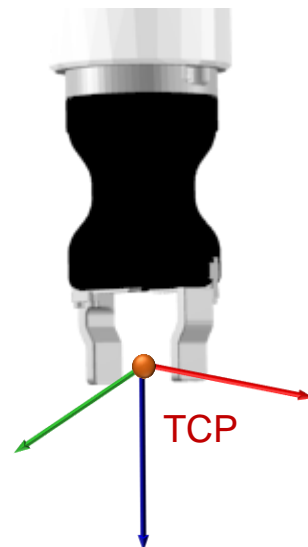
Układ współrzędnych związany z interfejsem mechanicznym robota.

## Układ współrzędnych narzędzia

Układ współrzędnych związany z narzędziem lub efektoresm robota.

## Punkt centralny narzędzia, TCP

Pozycja definiowana w układzie interfejsu dla potrzeb określonego zadania robota.

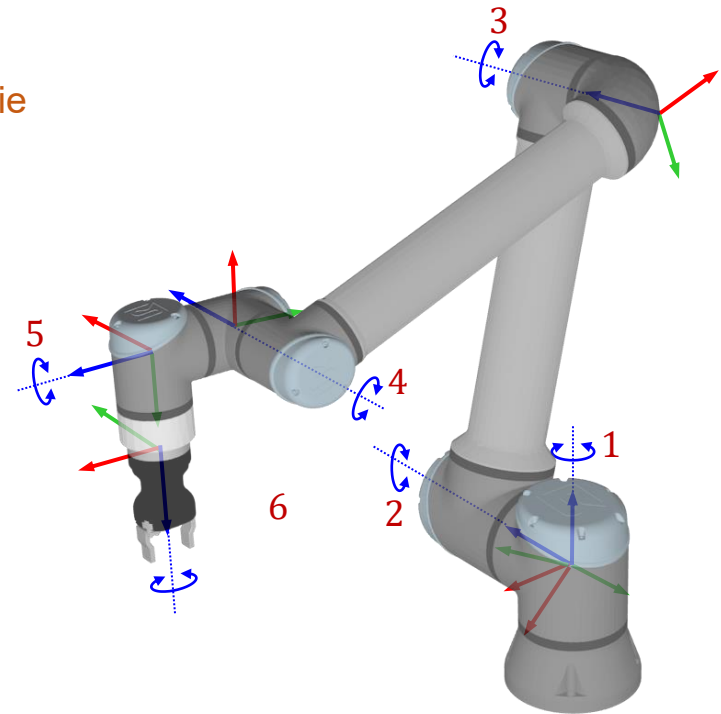
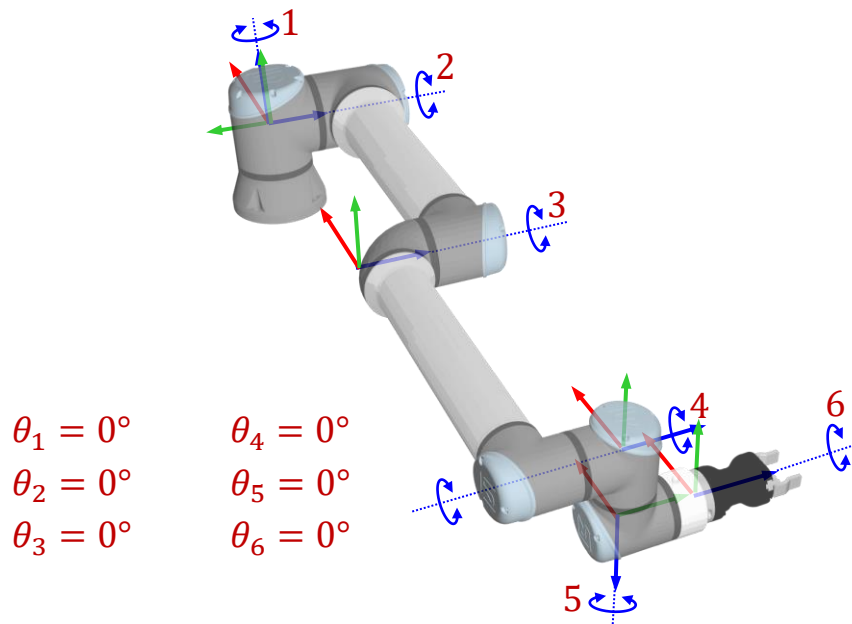


# EN ISO 8373:2021 – Budowa mechaniczna robota

## Konfiguracja

Zestaw wartości położeń przegubów, który całkowicie determinuje ułożenie robota w każdej chwili.

*Uwaga:* wzajemne położenie przegubów określa położenie związanych z nimi układów współrzędnych.

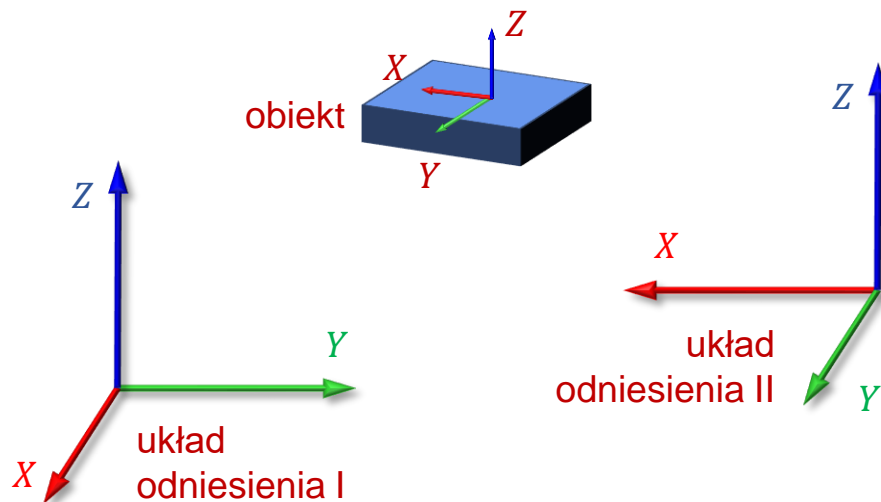


$\theta_1 = -93^\circ$      $\theta_4 = -68^\circ$   
 $\theta_2 = -77^\circ$      $\theta_5 = 90^\circ$   
 $\theta_3 = -125^\circ$      $\theta_6 = -93^\circ$

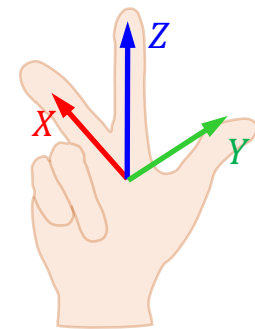
# Opis pozycji i orientacji obiektów w przestrzeni

## Poza, *ang. pose* – pozycja i orientacja obiektu

- jest względna – zależy od wyboru układu odniesienia,
- może być jednoznacznie opisana (przy założeniu, że obiekt jest bryłą sztywną) po związaniu z obiektem układu współrzędnych i opisaniu jego pozycji i orientacji w układzie odniesienia.



Położenie i orientacja obiektu (związanego z nim układu współrzędnych) jest różna dla różnych układów odniesienia



ISO 9787 ...układy współrzędnych  
wszystkie układy współrzędnych  
są definiowane jako **prawoskrętne**

# Opis pozycji i orientacji obiektów w przestrzeni

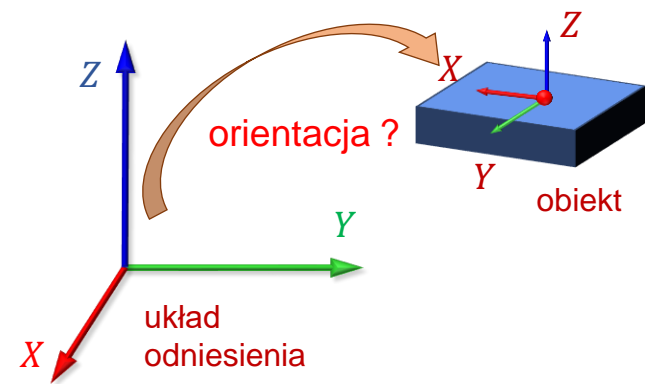
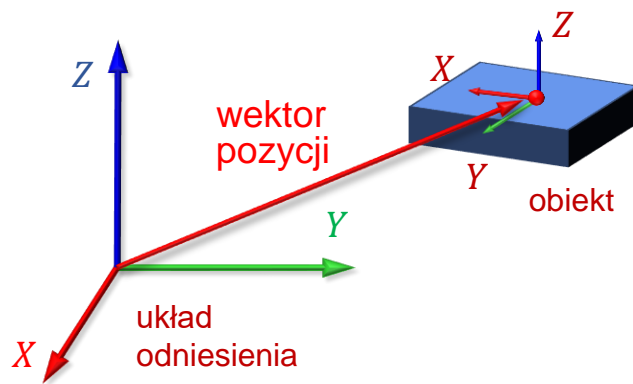
## Pozycja obiektu

jest jednoznacznie określona trzema współzrędnymi opisującymi położenie początku układu związanego z obiektem w układzie odniesienia

## Orientacja obiektu

może być opisywana:

- 3 parametrami (za pomocą **kątów Eulera** albo **wektora obrotu**)
- 4 parametrami (za pomocą notacji **kąt-oś** albo **kwaternionów**)
- 9 parametrami (za pomocą **macierzy obrotu**)



## Kąty Eulera

dowolną orientację można osiągnąć poprzez maksymalnie trzy kolejne obroty

procedura

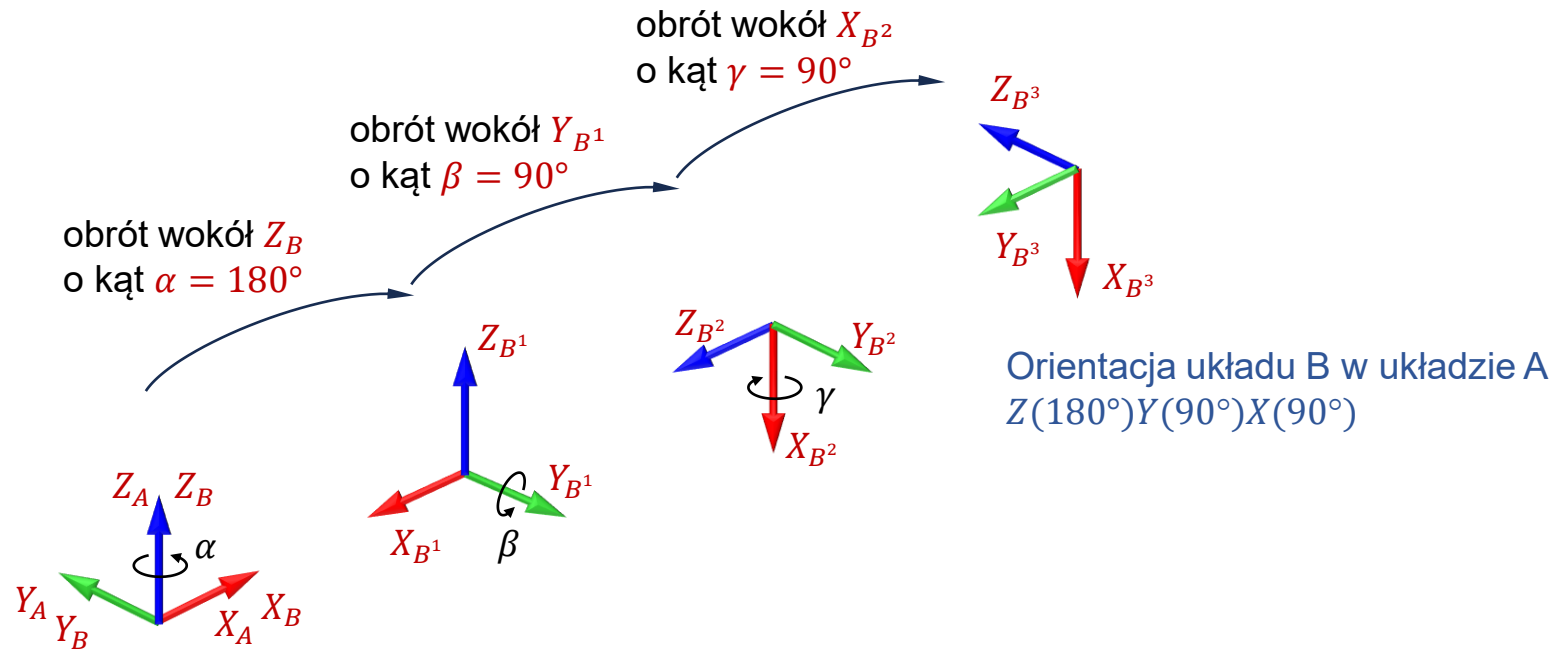
*start:* układ  $B$  pokrywa się z układem  $A$

1. wykonywany jest obrót wokół jednej z osi układu  $B$  o kąt  $\alpha$
2. wykonywany jest obrót wokół jednej z osi układu  $B$  o kąt  $\beta$
3. wykonywany jest obrót wokół jednej z osi układu  $B$  o kąt  $\gamma$

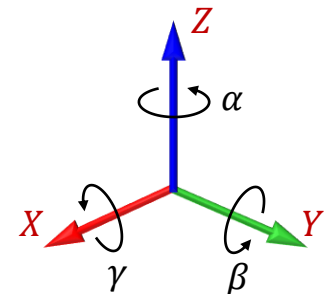
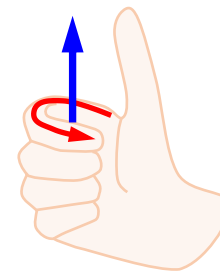
### Uwagi

- możliwych jest  $3^3 = 27$  kombinacji osi obrotu:  
 $XYZ, XYX, XZY, XZY, YXZ, YXY, YZX, YZY, ZYX, ZYZ, ZXY, ZXZ \dots$   
jednak w 15 dwa kolejne obroty musiałyby być wykonywane wokół tej samej osi (w takim przypadku nie można uzyskać dowolnej orientacji) więc w praktyce wykorzystywanych jest 12 sekwencji
- najczęściej wykorzystywane sekwencje:  $ZYX, ZYZ, XYZ$

# Kąty Eulera ZYX



ISO 9787 ... układy współrzędnych  
kąty dodatnie określone są zgodnie  
z regułą śruby prawoskrętnej





# Opis pozycji obiektów w przestrzeni

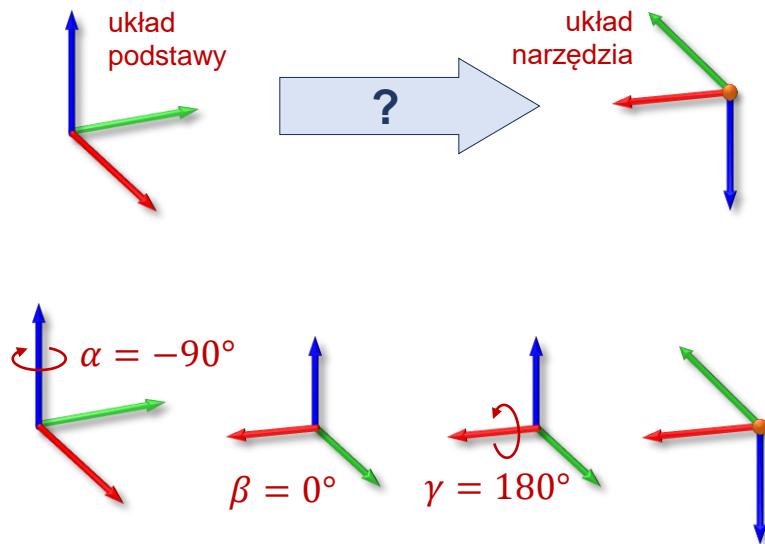
Gdzie jest narzędzie?

jaka jest poza układu narzędzia w układzie podstawy?

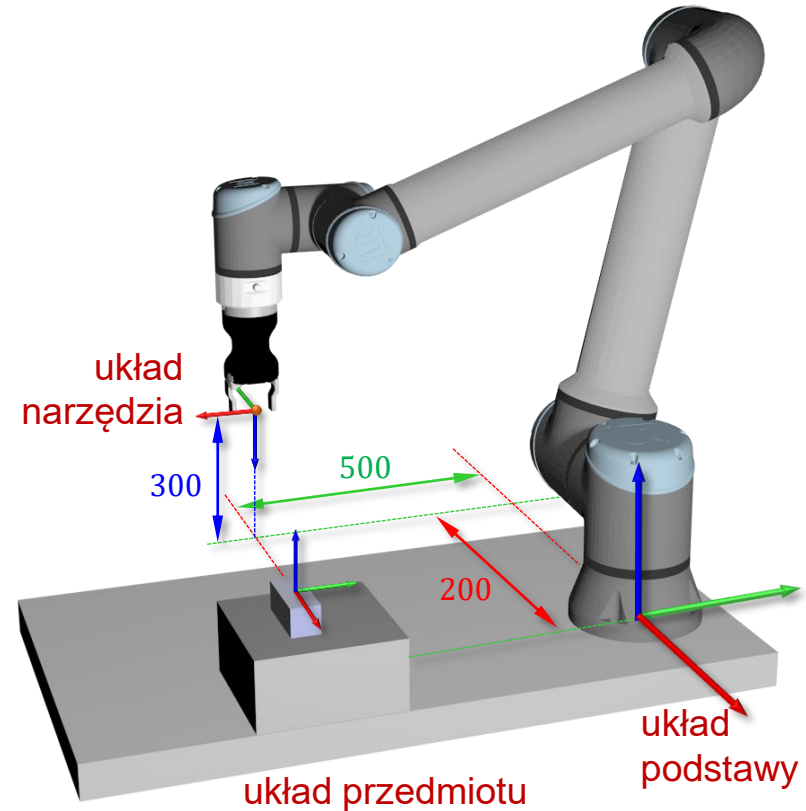
Pozycja

$$P_{TCP} = (-200, -500, 300)$$

Orientacja



$$Z(-90^\circ)Y(0^\circ)X(180^\circ)$$



## Kinematyka prosta

Matematyczny opis zależności pomiędzy układami współrzędnych dwóch części połączenia mechanicznego na podstawie wartości położeń przegubów charakteryzujących to połączenie.

*Uwaga:* w przypadku manipulatora kinematyka prosta określa zależność pomiędzy układem współrzędnych narzędzia a układem współrzędnych podstawy w oparciu o wartości położeń przegubów.

$$\theta_1 = -93^\circ \quad \theta_2 = -77^\circ \quad \theta_3 = -125^\circ$$

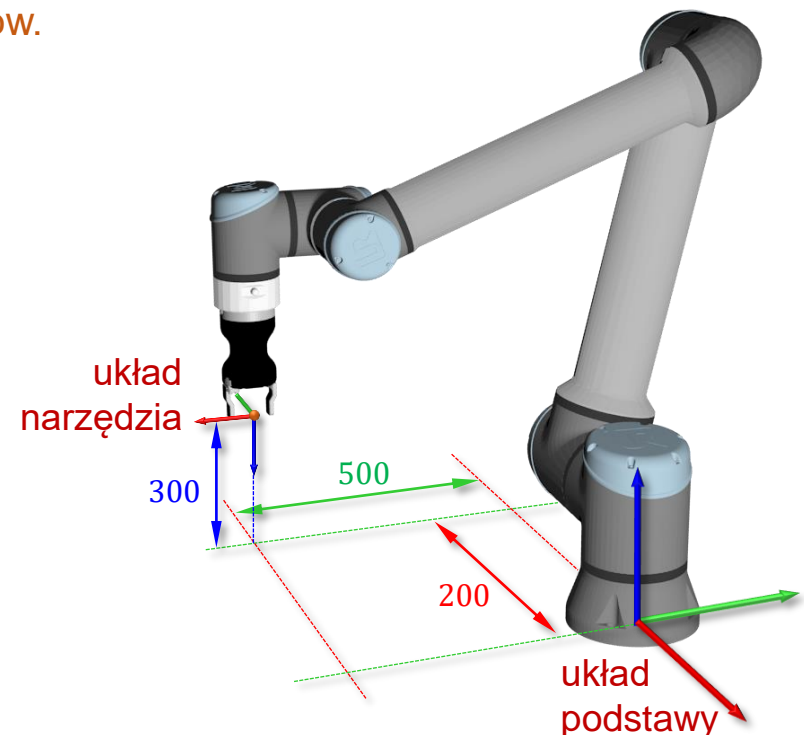
$$\theta_4 = -68^\circ \quad \theta_5 = 90^\circ \quad \theta_6 = -93^\circ$$

konfiguracja ( $q$ )

↓  $p = k_p(q)$

pozycja i orientacja narzędzia ( $p$ )

$$(-200, -500, 300) \quad Z(-90^\circ)Y(0^\circ)X(180^\circ)$$



## Kinematyka odwrotna

Matematyczny opis wartości położeń przegubów połączenia mechanicznego na podstawie zależności pomiędzy układami współrzędnych dwóch części tego połączenia.

*Uwaga:* w przypadku manipulatora kinematyka odwrotna określa wartości położeń przegubów w oparciu o zależności pomiędzy układami współrzędnych narzędzia i podstawy.

$(-200, -500, 300) Z(-90^\circ)Y(0^\circ)X(180^\circ)$

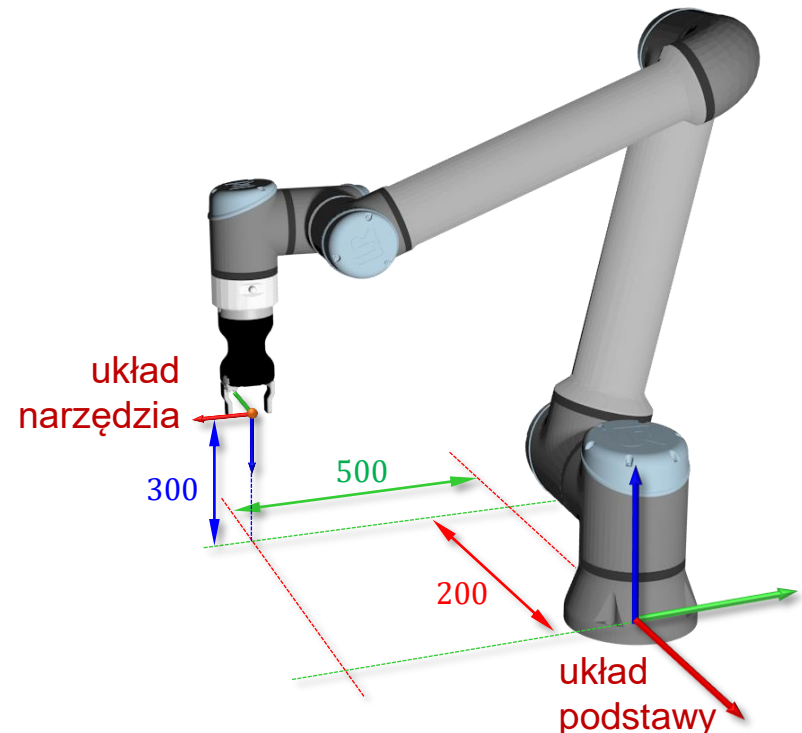
pozycja i orientacja narzędzia ( $p$ )

↓  $q = k_o(p)$

konfiguracja ( $q$ )

$\theta_1 = -93^\circ$   $\theta_2 = -77^\circ$   $\theta_3 = -125^\circ$

$\theta_4 = -68^\circ$   $\theta_5 = 90^\circ$   $\theta_6 = -93^\circ$

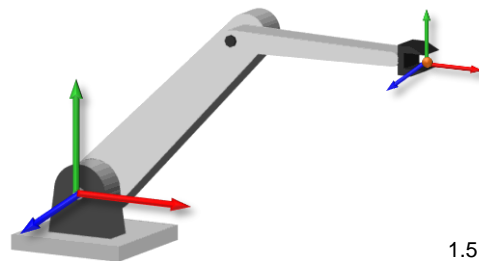


Przestrzeń kartezyjska , przestrzeń zadania, przestrzeń operacyjna  
przestrzeń, której każdy punkt odpowiada jednej pozycji i orientacji narzędzia.

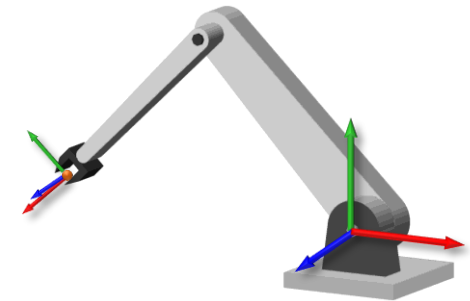
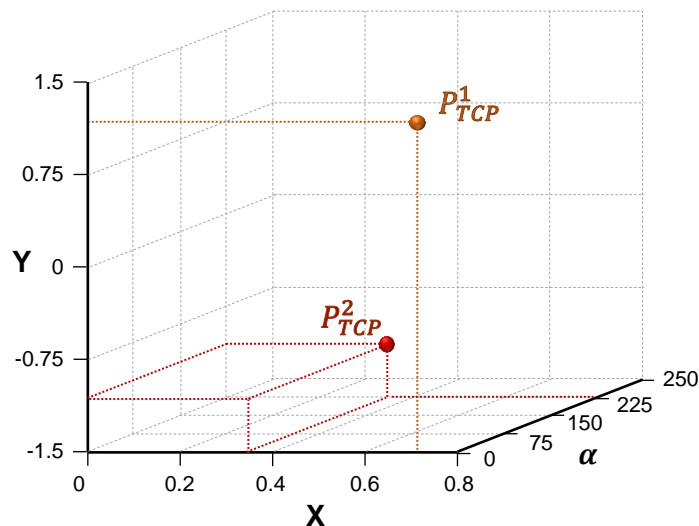
## Manipulator 2R (dwie pary obrotowe)

długości członów 1.0 i 0.5, działa w płaszczyźnie XY,  
położenie TCP opisane parą współrzędnych  $(x, y)$   
orientacja jednym kątem  $(\alpha)$

trójwymiarowa przestrzeń kartezyjska



$$P_{TCP}^1 = [0.71, 1.21, 0^\circ]$$



$$P_{TCP}^2 = [0.35, -1.06, 225^\circ]$$

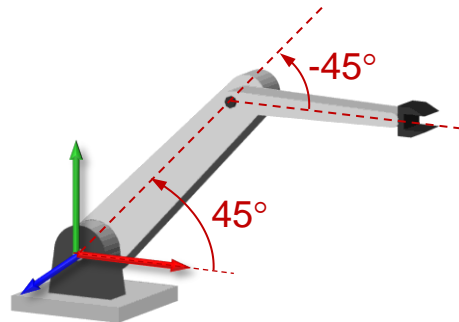
## Przestrzeń konfiguracyjna

przestrzeń, której każdy punkt odpowiada jednej konfiguracji robota.

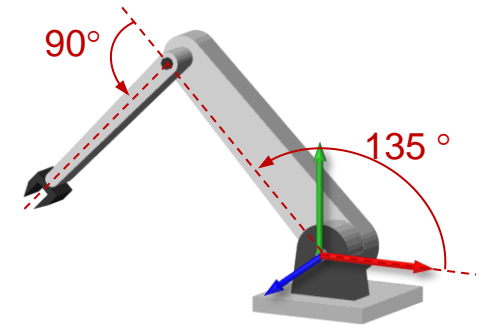
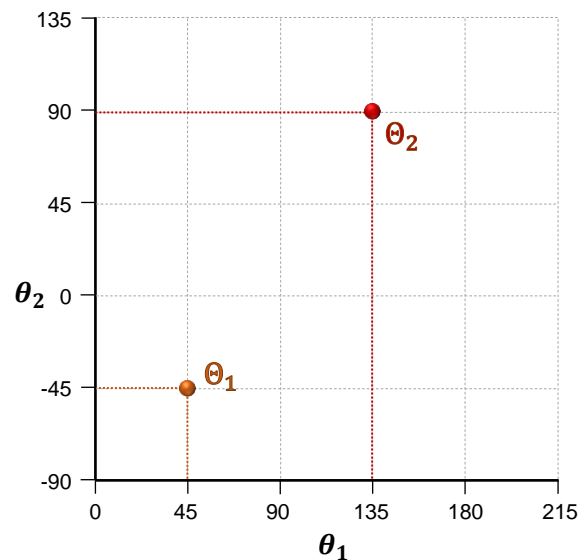
### Manipulator 2R (dwie pary obrotowe)

konfiguracja opisana dwoma położeniami przegubów  $(\theta_1, \theta_2)$

dwuwymiarowa przestrzeń konfiguracyjna



$$\theta_1 = [45^\circ, -45^\circ]$$



$$\theta_2 = [135^\circ, 90^\circ]$$

## Przestrzeń robocza

zbiór punktów przestrzeni, które może osiągnąć punkt referencyjny nadgarstka (punkt przecięcia dwóch najbardziej wewnętrznych osi nadgarstka, tzn. najbliższych osi ramienia)

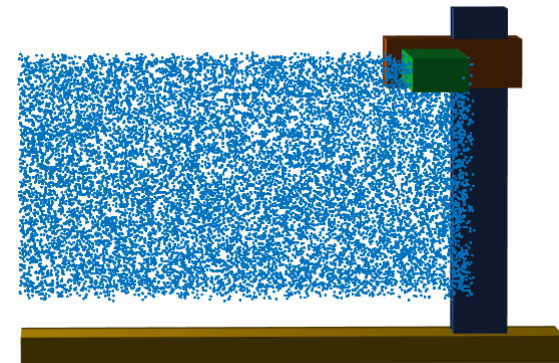
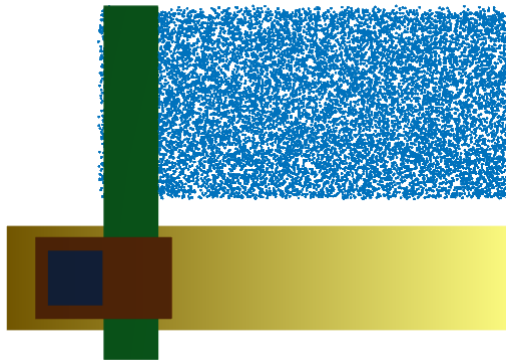
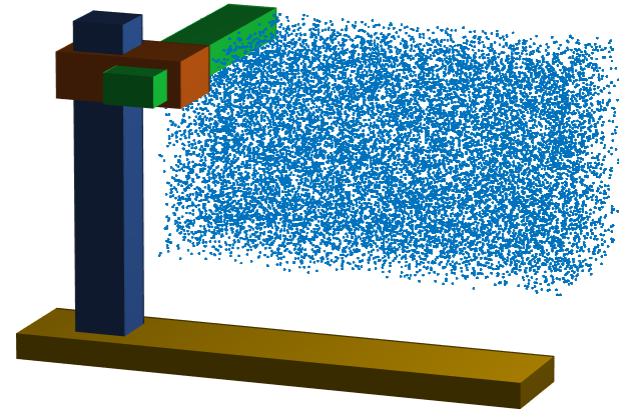
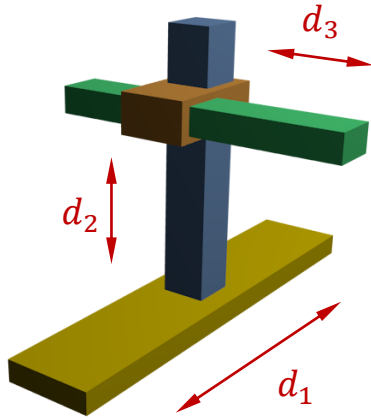
≈ zbiór punktów przestrzeni, które może osiągnąć efektor\*

\*J. J. Craig, Wprowadzenie do robotyki, WNT, Warszawa 1995

Przestrzeń robocza jest ograniczona przez:

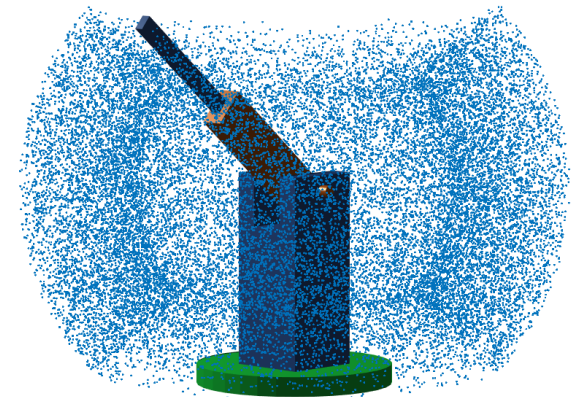
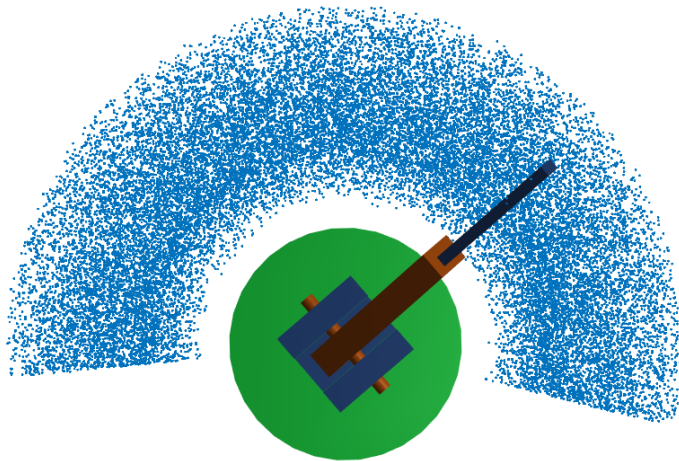
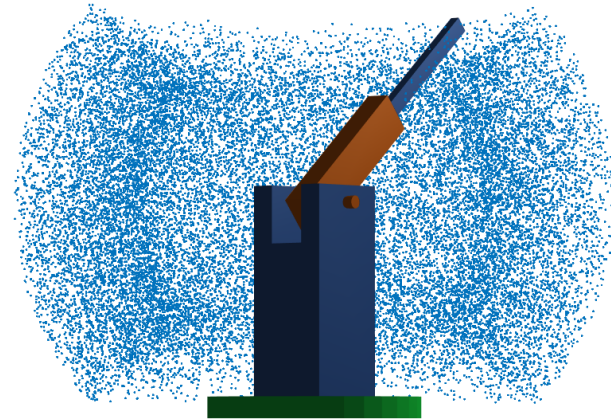
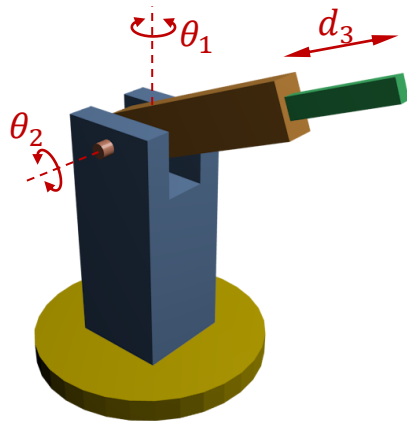
- kinematykę robota (rodzaj i liczbę połączeń przegubów, długość członów),
- dopuszczalny zakres ruchów w poszczególnych połączeniach.

# Przestrzeń robocza – manipulator PPP



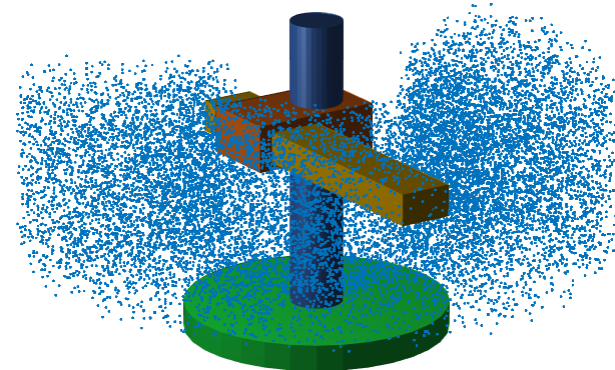
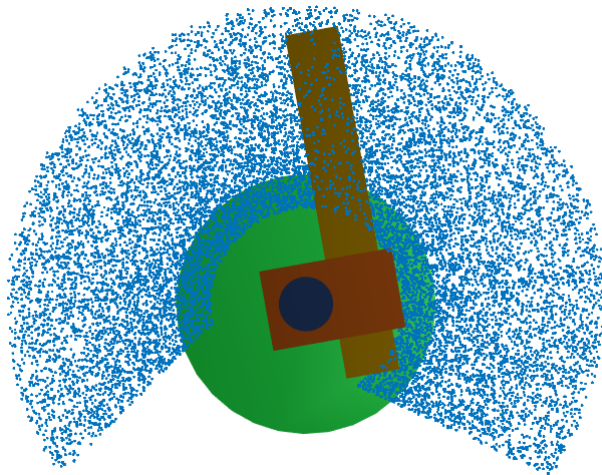
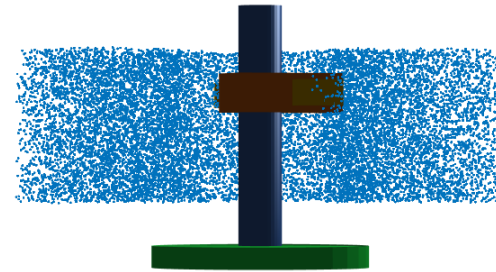
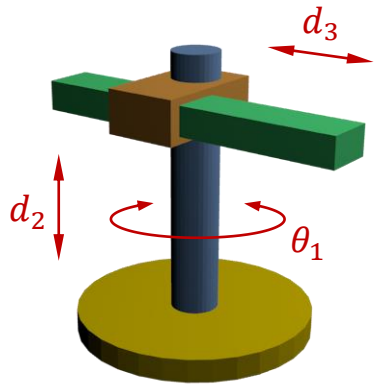


# Przestrzeń robocza – manipulator RRP

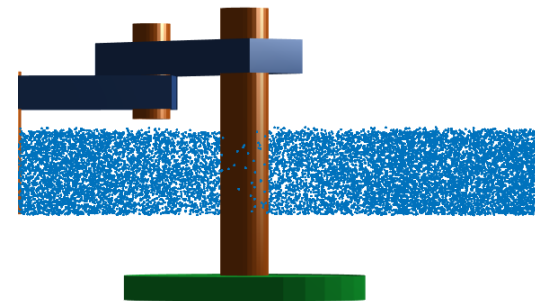
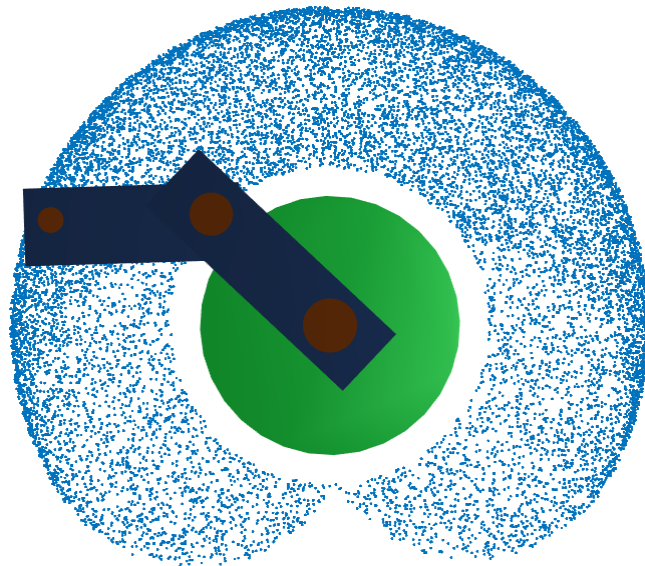
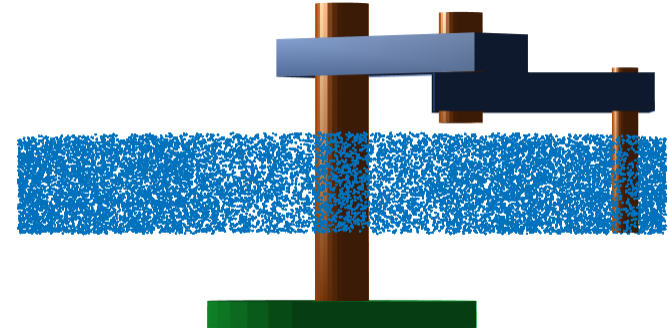
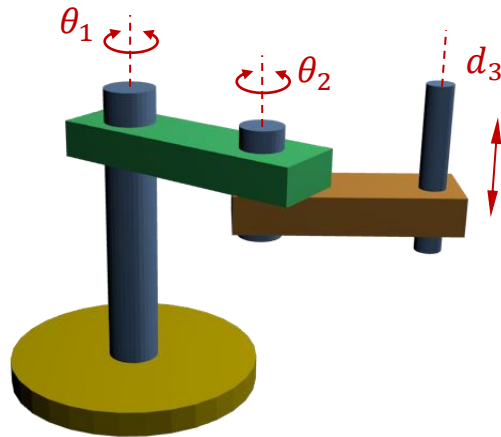




# Przestrzeń robocza – manipulator RPP



# Przestrzeń robocza – manipulator SCARA

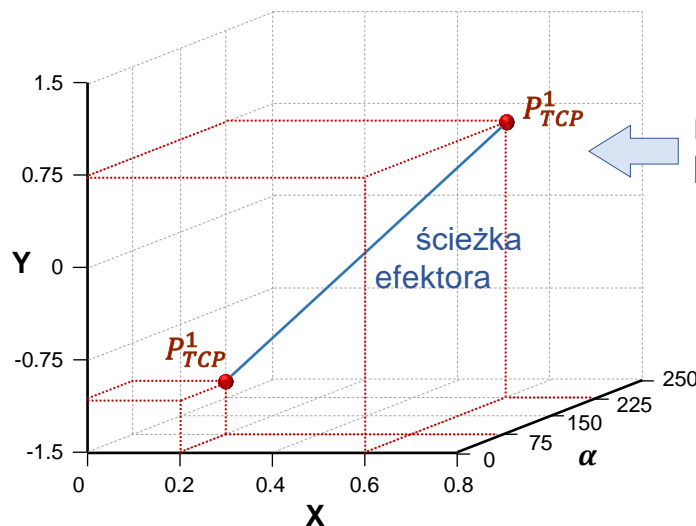


## Metody przestrzeni kartezyjskiej (zadania)

Ruch od zadanego **położenia początkowego TCP** do **położenia końcowego** planowany jest w przestrzeni kartezyjskiej. Kolejne konfiguracje gwarantujące realizację ruchu są wyznaczane z kinematyki odwrotnej.

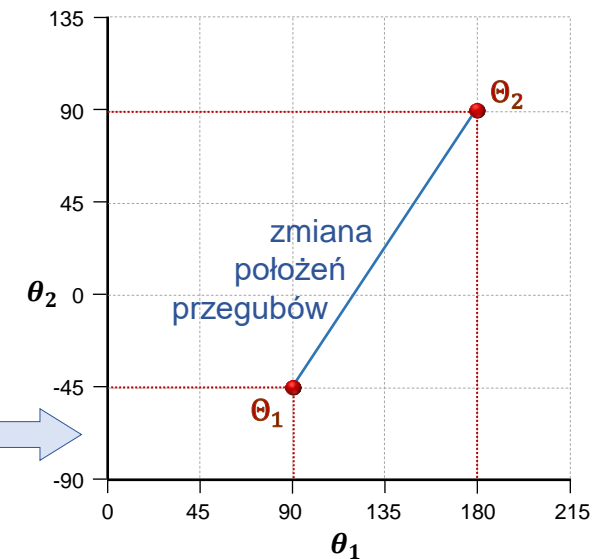
## Metody przestrzeni konfiguracyjnej

Ruch od zadanej **konfiguracji początkowej** do **konfiguracji końcowej** planowany jest w przestrzeni konfiguracyjnej. Jeżeli zadanie zostało opisane w przestrzeni kartezyjskiej (jako położenie TCP) konfiguracje są wyznaczane z kinematyki odwrotnej.



ruch w przestrzeni kartezyjskiej

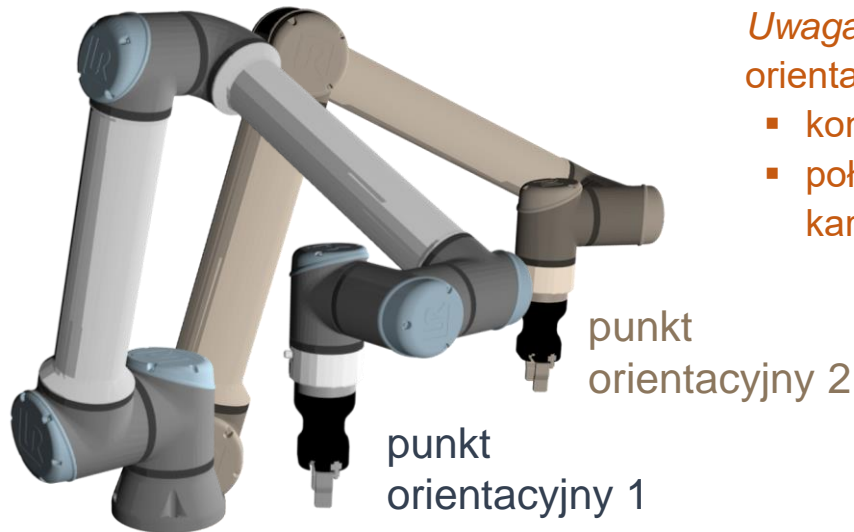
ruch w przestrzeni konfiguracyjnej



zmiana  
położen  
przegubów

## Podstawowa metoda programowania

- ustalenie zbioru **punktów orientacyjnych** odpowiadających żądanym lokalizacjom robota w trakcie realizacji zadania,
- ustalenie **sposobu poruszania** pomiędzy punktami orientacyjnymi,
- wygenerowanie konfiguracji pośrednich pomiędzy punktami orientacyjnymi (operacja realizowana przez sterownik robota).

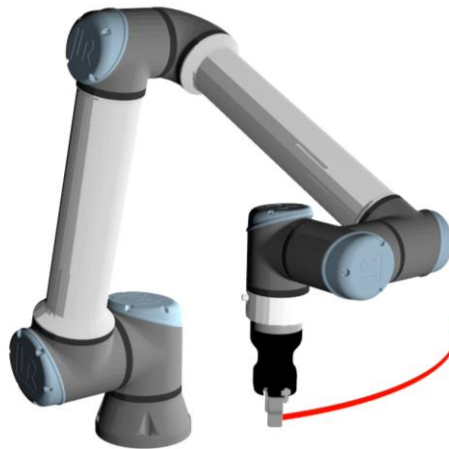


*Uwaga:* zależnie od sposobu określania zadania punkt orientacyjny może oznaczać:

- konfigurację (punkt w przestrzeni konfiguracyjnej),
- położenie i orientację TCP (punkt w przestrzeni kartezyjskiej).

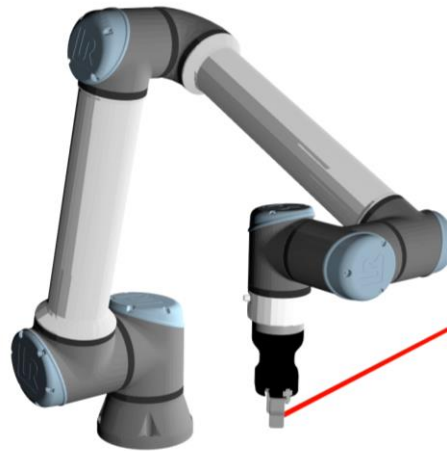
## Ruch J

- jest planowany w przestrzeni konfiguracyjnej
- kąty w przegubach zmieniają się w 3 fazach: przyspieszania, stałej prędkości i hamowania,
- tor ruchu narzędzia jest zakrzywiony (w różnym stopniu),
- jest wykorzystywany do szybkiego przemieszczania pomiędzy punktami orientacyjnymi.

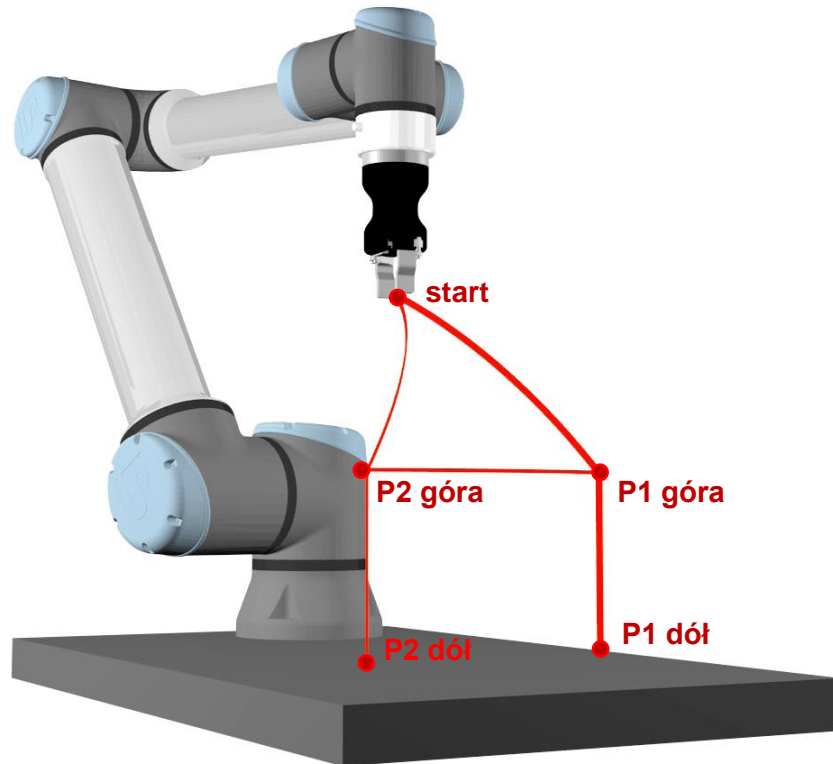


## Ruch L

- jest planowany w przestrzeni kartezyjskiej (zadania),
- tor ruchu narzędzia jest liniowy,
- kąty w przegubach zmieniają się w sposób złożony, żeby zapewnić prostoliniowy ruch narzędzia,
- ruch wykorzystywany do pobierania, odkładania i manipulowania detalami.



# Przykładowe zadanie



1. start → P1 góra      ruch J
2. P1 góra → P1 dół      ruch L
3. P1 dół → P1 góra      ruch L
4. P1 góra → P2 góra      ruch J
5. P2 góra → P2 dół      ruch L
6. P2 dół → P2 góra      ruch L
7. P2 góra → start      ruch J