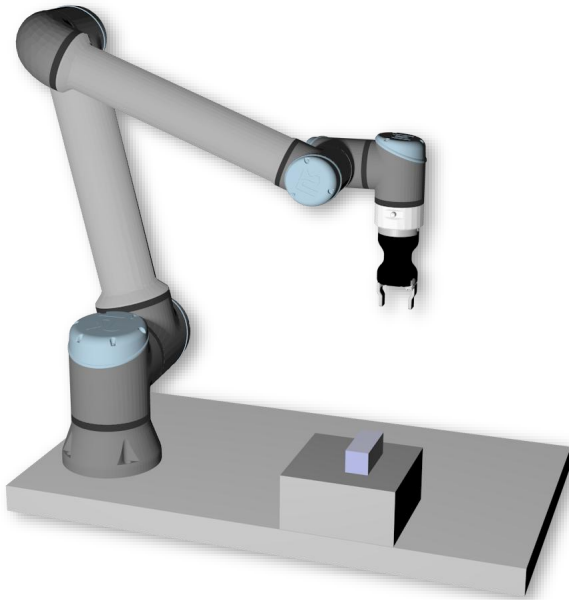


Zautomatyzowane systemy produkcyjne



Podstawy robotyki

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

Materiały

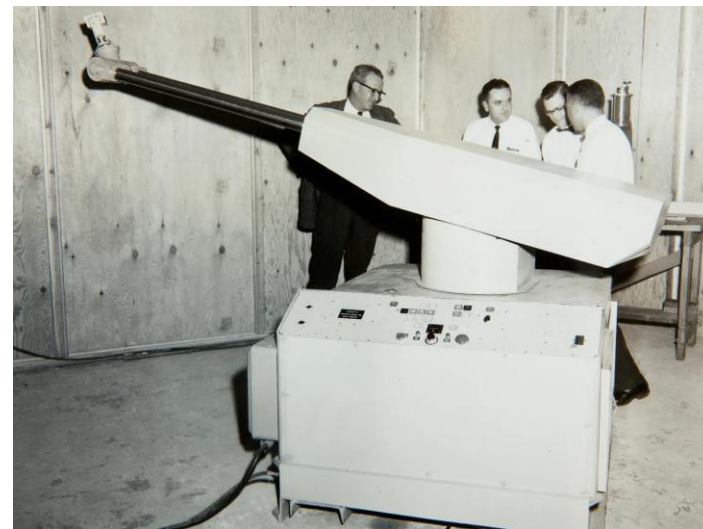
<http://staff.uz.zgora.pl/ipajak>

<http://staff.uz.zgora.pl/gpajak>

Historia i zastosowania

Krótką historia robotyki

- 1947 pierwszy teleoperator z serwonapędem elektrycznym;
- 1949 pierwsze badania nad obrabiarkami sterowanymi numerycznie;
- 1954 pierwszy patent dotyczący robotyki w Wielkiej Brytanii (nr.781465);
- 1955 pierwszy programowalny robot zaprojektowany przez Georg'a Devola;
- 1956 Joseph Engelberg (student fizyki na Uniwersytecie Columbia) kupuje prawa do robota Devola, powstaje firma Unimation;
- 1958 pierwszy prototyp robota Unimate zainstalowany w fabryce General Motors;
- 1961 pierwszy seryjny robot Unimate zainstalowany w fabryce General Motors;
- 1962 pierwszy patent dotyczący robotów w USA (nr.2,998,237), złożony przez Georg'a Devol'a;
- 1963 pierwszy robot przemysłowy firmy Versatran;
- 1964 pierwszy robot malarski Tralfa zainstalowany w fabryce w Norwegii;
- 1969 General Motors rozpoczyna montaż nadwozi Chevrolet'a Vega przy pomocy robotów Unimate.



Zastosowania – montaż (peg-on-hole)



Zastosowania – pakowanie i paletyzacja



Zastosowania – obsługa maszyn



Pojęcia podstawowe

Robotyzacja

Wprowadzenie do procesu produkcyjnego manipulatorów, robotów i urządzeń pomocniczych, które wykonują operacje bez lub z ograniczonym udziałem człowieka. Obejmuje zarówno procesy technologiczne (obróbka mechaniczna, cieplna, montaż, itp.) jak i pomocnicze (dostarczenie materiałów, odbiór wyrobów gotowych, magazynowanie, itp.).

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

EN ISO 8373:2021 – Terminologia ogólna

Robot

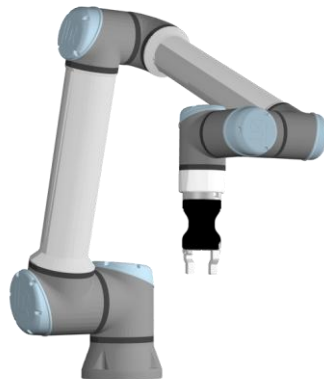
Mechanizm programowalny (z uwzględnieniem systemu sterowania) o pewnym stopniu autonomii, wykonujący zadania lokomocyjne, manipulacyjne lub pozycjonujące.

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.



EN ISO 8373:2021 – Terminologia ogólna

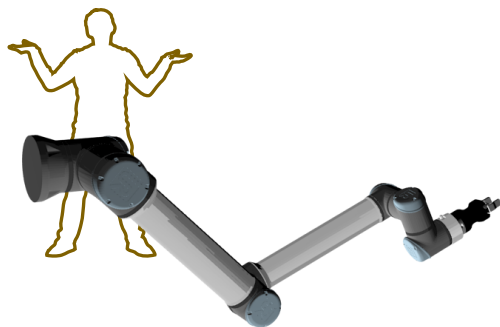
Technologia robotyczna

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



Egzoszkieleł

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.

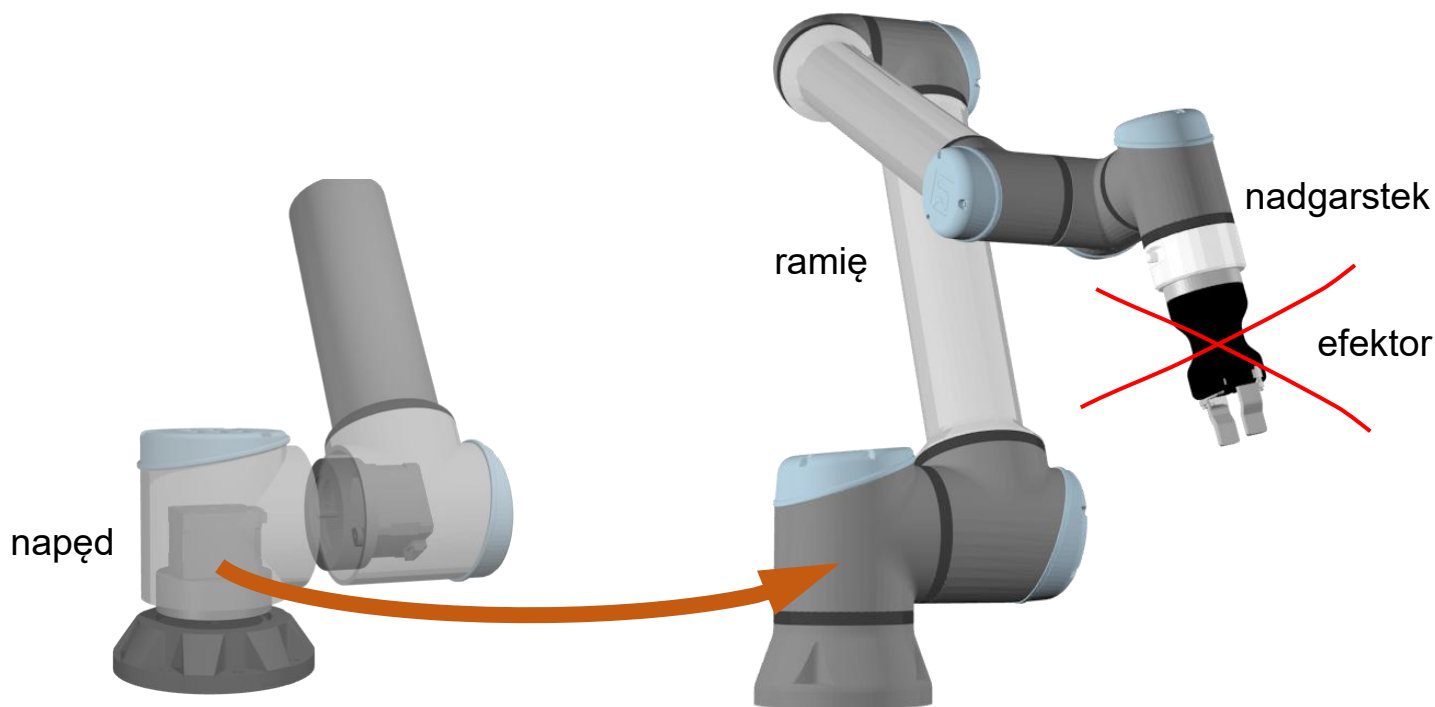
System robota przemysłowego, System robota

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

Budowa mechaniczna robota

Manipulator

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



EN ISO 8373:2021 – Budowa mechaniczna robota

Podstawa

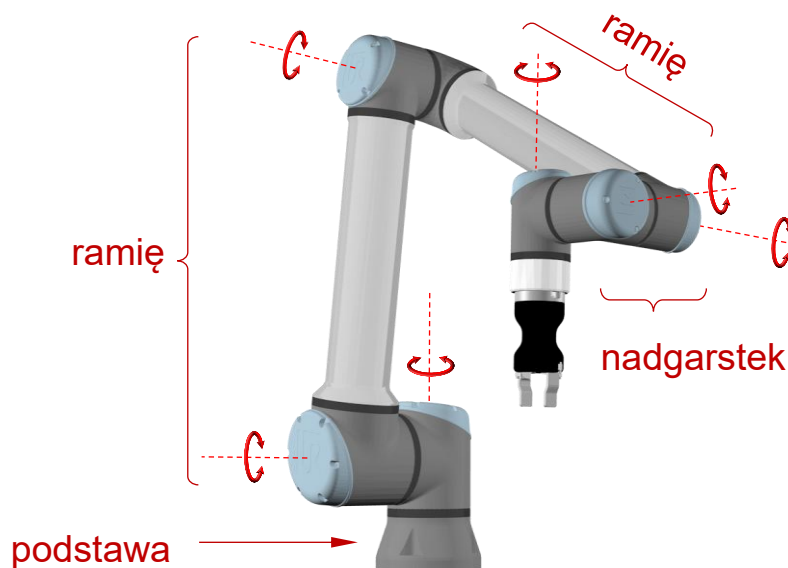
Konstrukcja, do której przymocowane jest pierwszy człon manipulatora.

Ramię

Zbiór członów i napędzanych połączeń pomiędzy podstawą a nadgarstkem.

Nadgarstek

Zbiór członów i napędzanych połączeń manipulatora pomiędzy ramieniem a efektozem.



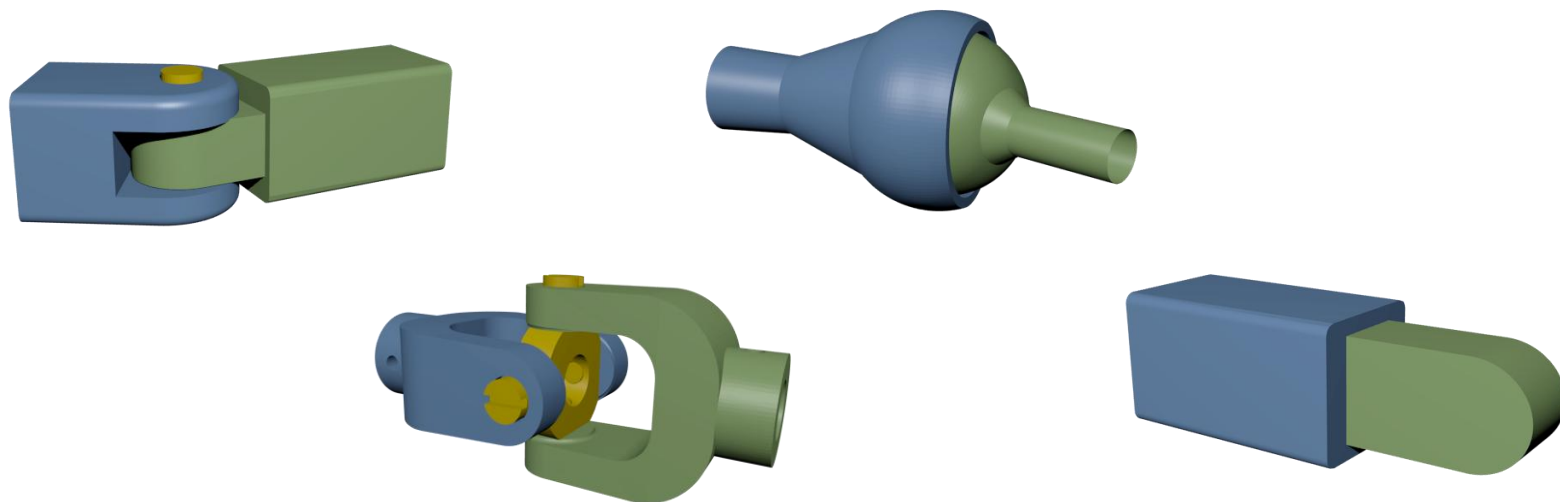
Człon

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.

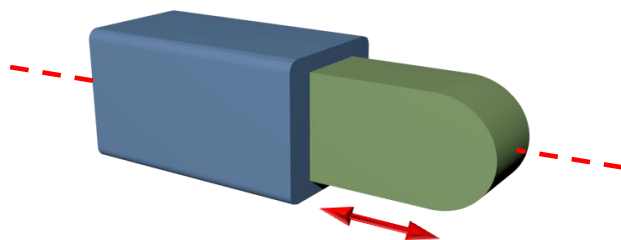


Para pryzmatyczna, Para przesuwna (P)

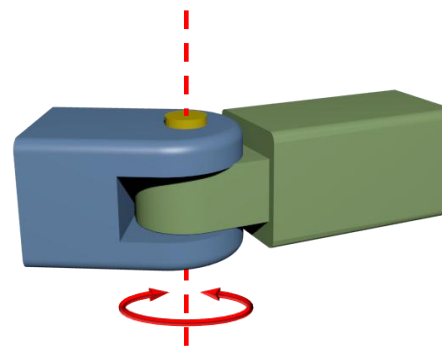
Połączenie dwóch członów, w którym jest możliwy jedynie ruch liniowy jednego członu względem drugiego.

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.

Efektory

EN ISO 8373:2021 – Budowa mechaniczna robota

Efektor

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

Chwytek

Efektor przeznaczony do chwytania i przytrzymywania.

Interfejs mechaniczny

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

Przykłady



chwytek

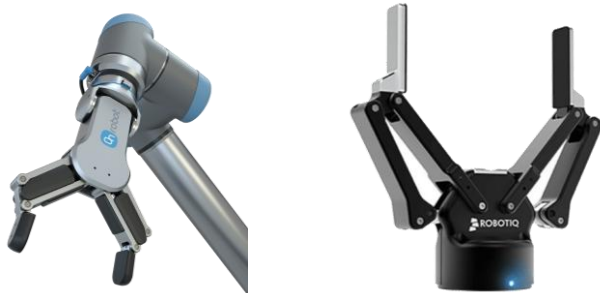


pistolet spawalniczy



pistolet natryskowy

Chwytyki

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	

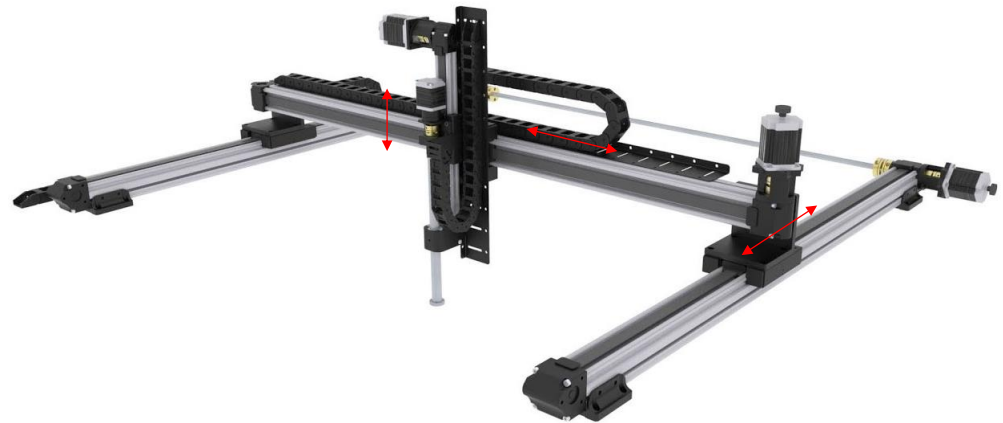
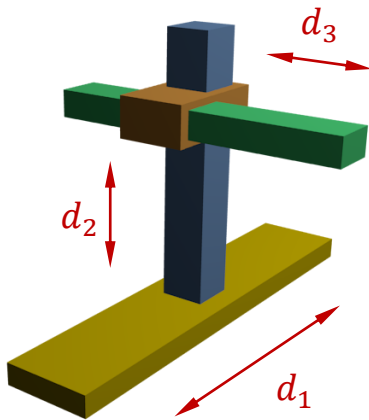
Chwytnik

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

Typowe konstrukcje robotów

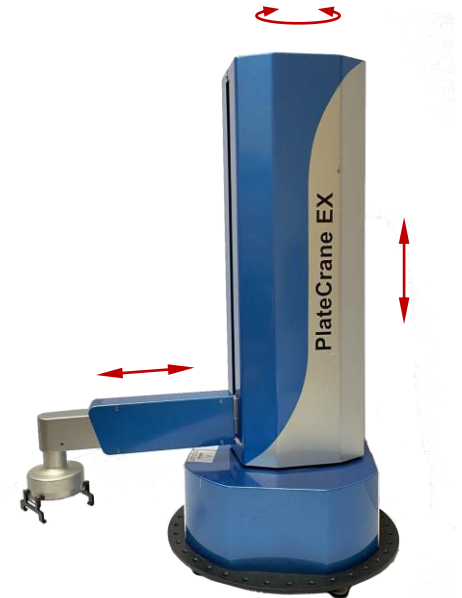
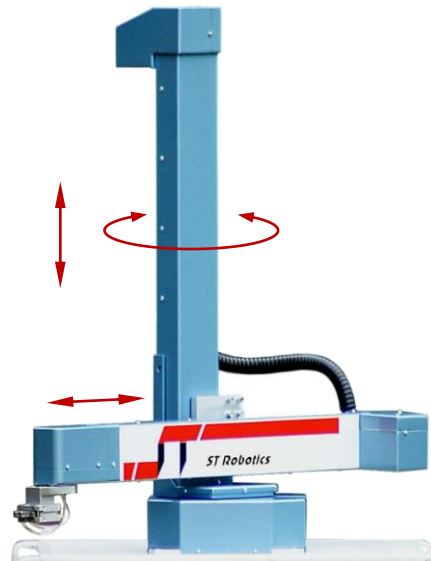
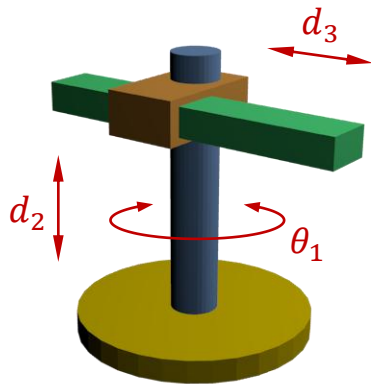
Manipulator kartezyjski – PPP

Manipulator o trzech parach pryzmatycznych, których osie tworzą kartezyjski układ współrzędnych (są wzajemnie prostopadłe).



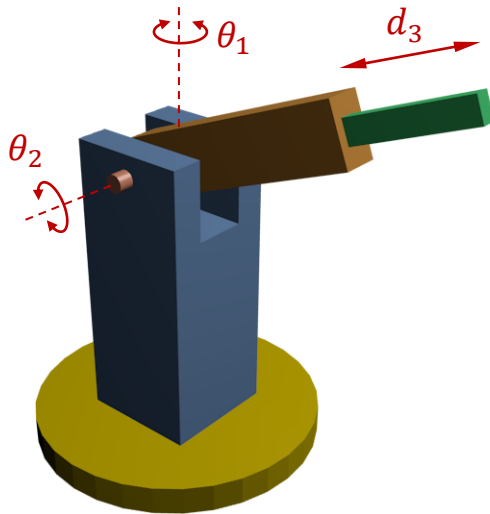
Manipulator cylindryczny – RPP

Manipulator o jednej parze obrotowej i dwóch pryzmatycznych, których osie tworzą cylindryczny układ współrzędnych.



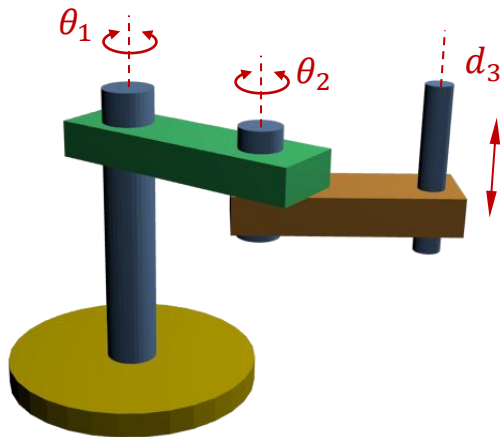
Manipulator sferyczny – RRP

Manipulator o dwóch parach obrotowych i jednej pryzmatycznej, których osie tworzą sferyczny układ współrzędnych.



Manipulator SCARA – RRP

SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) – manipulator o dwóch parach obrotowych i jednej pryzmatycznej (osie wszystkich połączeń równoległe).



Manipulator o sześciu stopniach swobody – 6R

Manipulatory wzorowane na górnej kończynie człowieka, zazwyczaj z sześcioma połączeniami obrotowymi: trzy pary obrotowe odpowiadające ramieniu (podstawa, bark, łokieć) i trzy pary obrotowe odpowiadające nadgarstkowi.



Geometria i kinematyka

EN ISO 8373:2021 – Geometria i kinematyka

Globalny układ współrzędnych

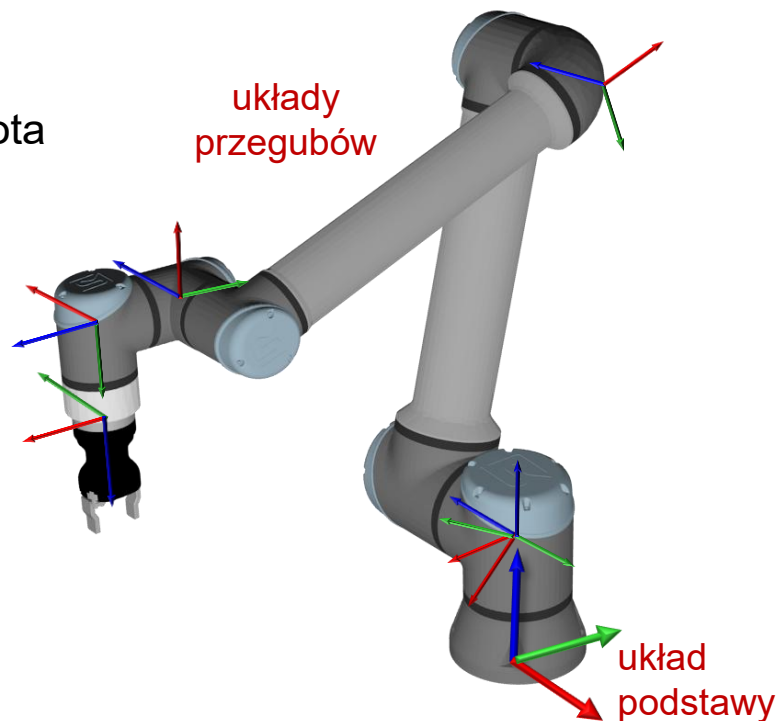
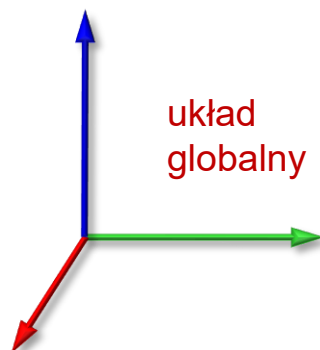
Nieruchomy układ współrzędnych związany z ziemią, niezależny od ruchu robota

Układ współrzędnych podstawy

Nieruchomy układ współrzędnych związany z podstawą robota

Układ współrzędnych przegubu

Układ współrzędnych związany z przegubem robota



EN ISO 8373:2021 – Geometria i kinematyka

Układ współrzędnych interfejsu mechanicznego

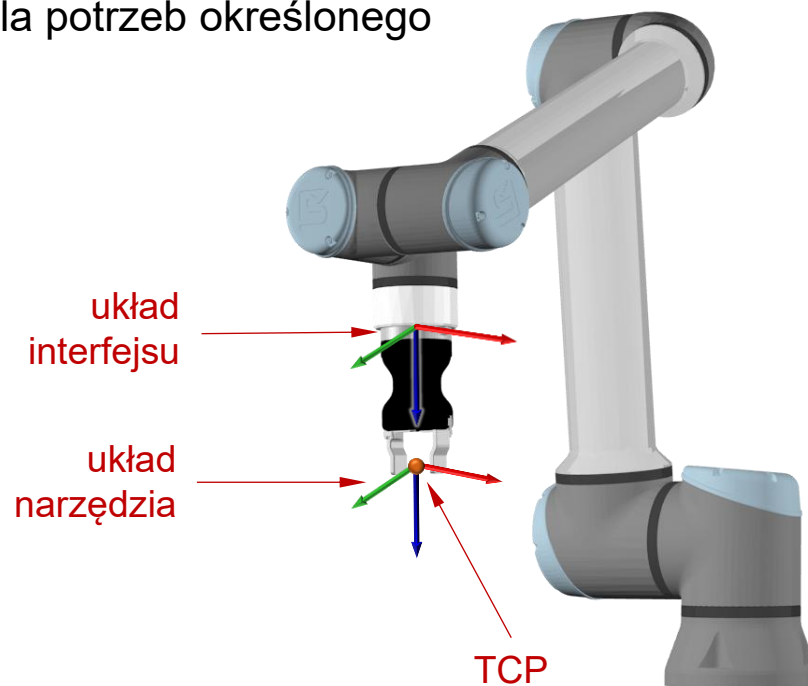
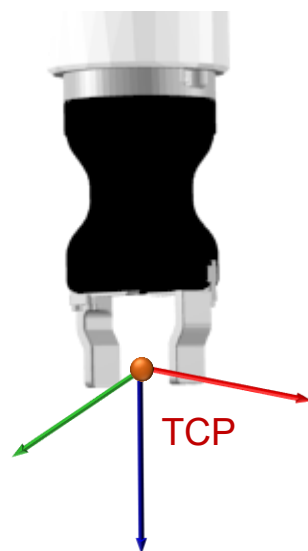
Układ współrzędnych związany z interfejsem mechanicznym robota.

Układ współrzędnych narzędzia

Układ współrzędnych związany z narzędziem lub efektem robota.

Punkt centralny narzędzia, TCP

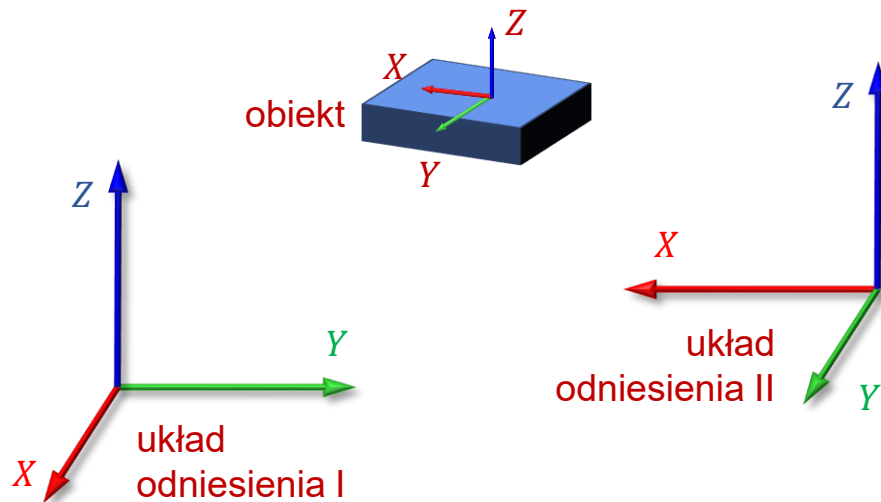
Pozycja definiowana w układzie interfejsu dla potrzeb określonego zadania robota.



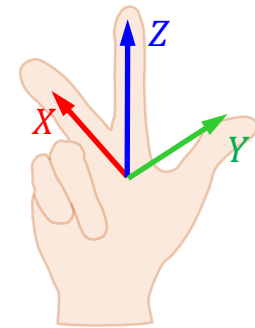
Opis pozycji i orientacji obiektów w przestrzeni

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

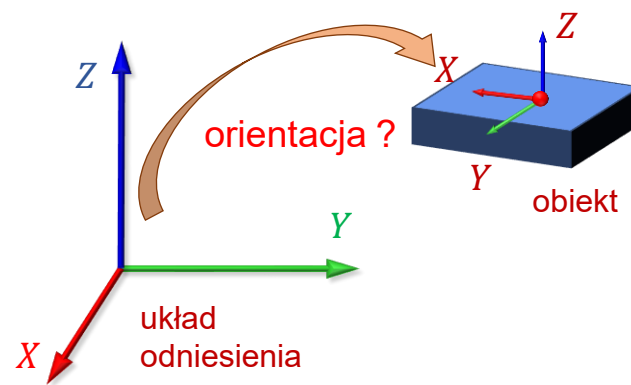
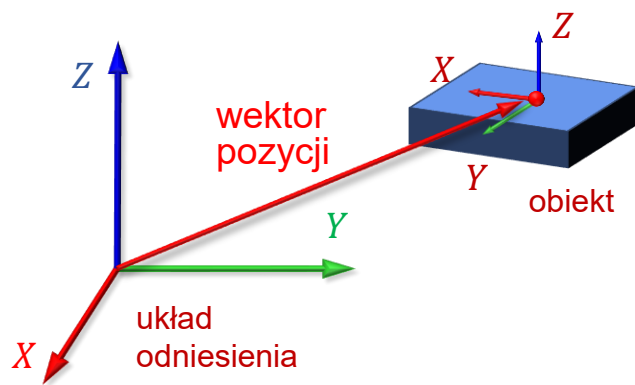
Pozycja obiektu

jest jednoznacznie określona trzema współrzędnymi 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**)



Opis orientacji obiektów w przestrzeni

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 α
2. wykonywany jest obrót wokół jednej z osi układu B o kąt β
3. wykonywany jest obrót wokół jednej z osi układu B o kąt γ

Uwagi:

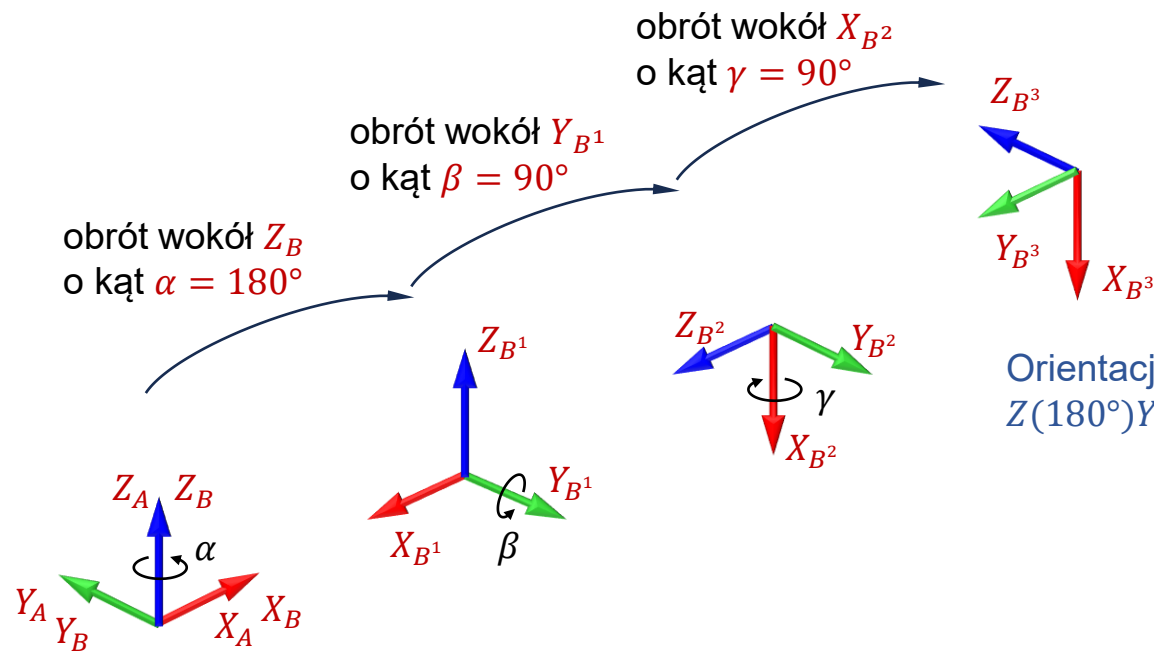
- możliwych jest $3^3 = 27$ kombinacji osi obrotu:

$XYZ, XYX, XZY, XZY, YXZ, YXY, YZX, YZY, ZYX, ZYZ, ZXY, ZXZ \dots$

w 15 przypadkach dwa kolejne obroty musiałyby być wykonywane wokół tej samej osi (nie można uzyskać dowolnej orientacji) więc w praktyce używa się 12 sekwencji,

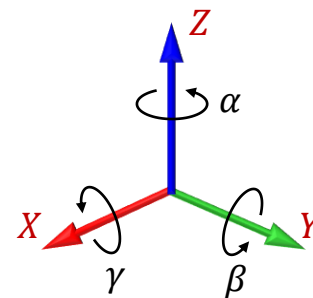
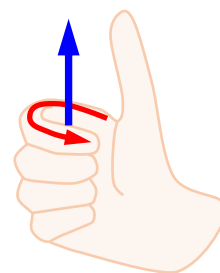
- najczęściej wykorzystywane sekwencje: ZYX, ZYZ, XYZ .

Kąty Eulera ZYX



Orientacja układu B w układzie A
Z(180°)Y(90°)X(90°)

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



Przestrzeń kartezjańska

Przestrzeń kartezjańska , przestrzeń zadania, przestrzeń operacyjna

przestrzeń, której każdy punkt odpowiada jednej pozycji i orientacji narzędzia.

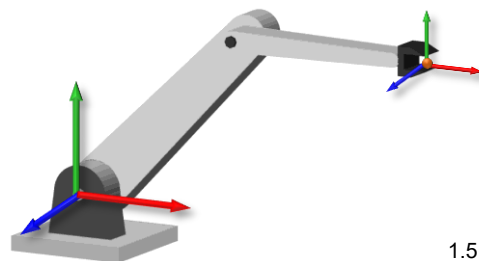
Manipulator 2R (dwie pary obrotowe)

długości członów 1.0 i 0.5, działa w płaszczyźnie XY,

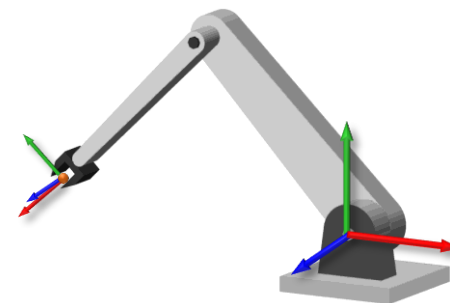
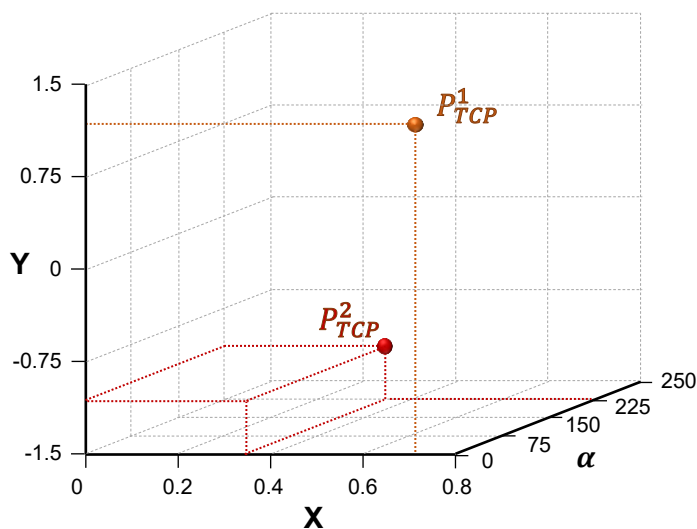
położenie TCP opisane parą współrzędnych (x, y)

orientacja jednym kątem (α)

trójwymiarowa przestrzeń kartezjańska



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



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

Przestrzeń konfiguracyjna

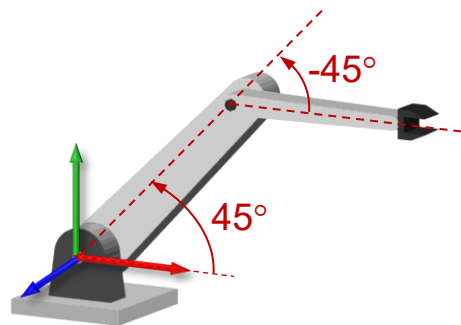
Przestrzeń konfiguracyjna

przestrzeń, której każdy punkt odpowiada jednej konfiguracji robota.

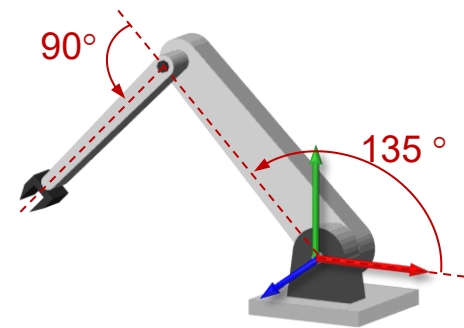
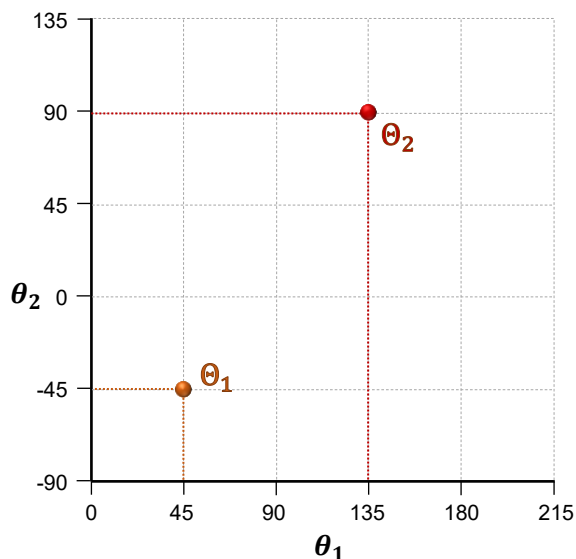
Manipulator 2R (dwie pary obrotowe)

konfiguracja opisana dwoma położeniami przegubów (θ_1, θ_2)

dwuwymiarowa przestrzeń konfiguracyjna



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



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

Poza robota w przestrzeni kartezjańskiej

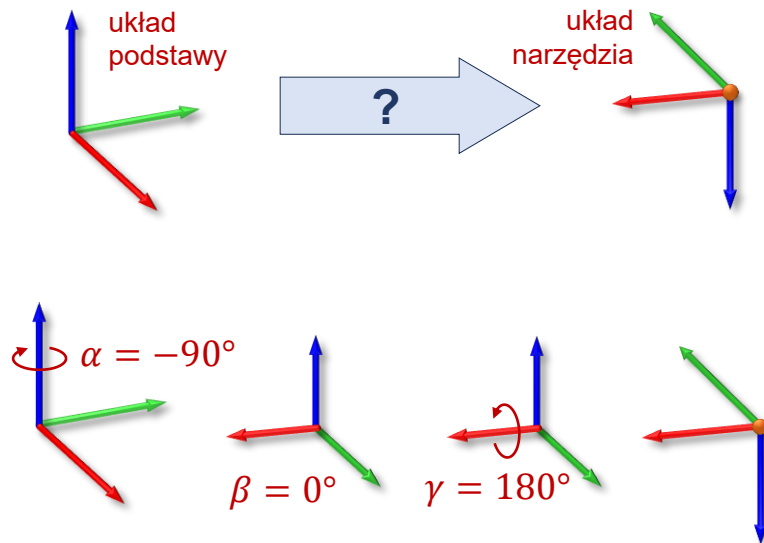
Gdzie jest narzędzie?

jaka jest poza układu narzędzia w układzie podstawy?

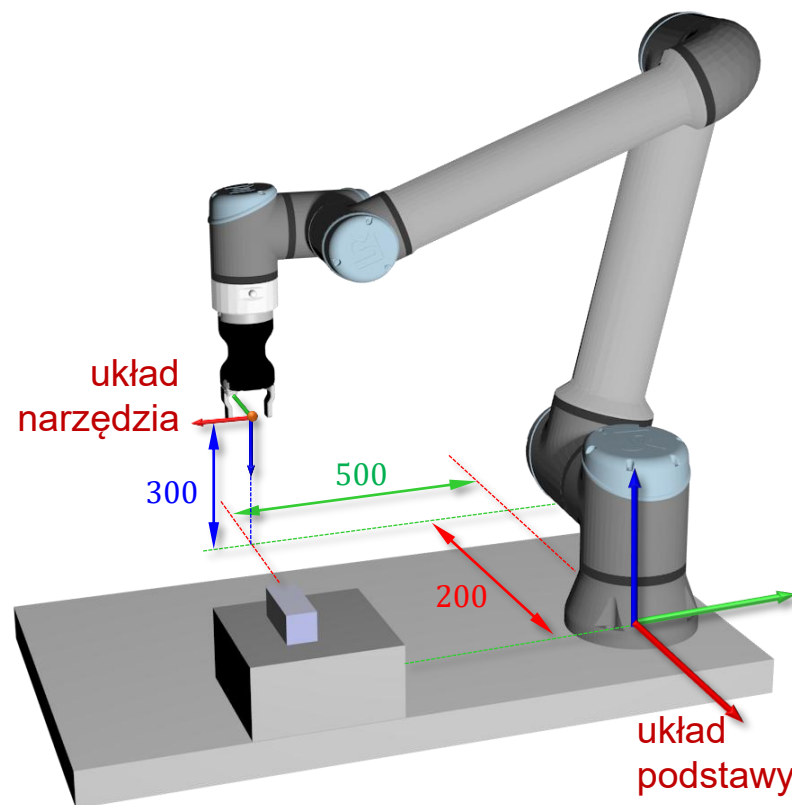
Pozycja

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

Orientacja



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

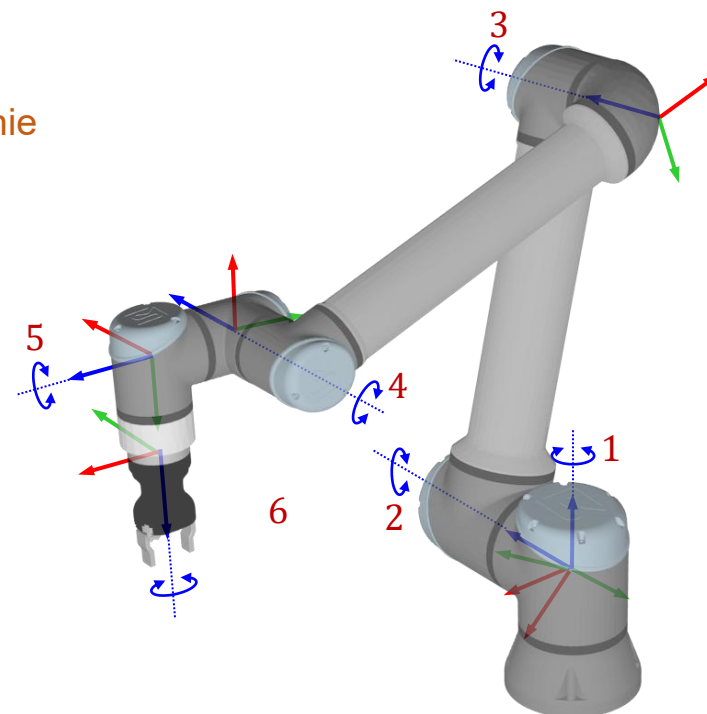
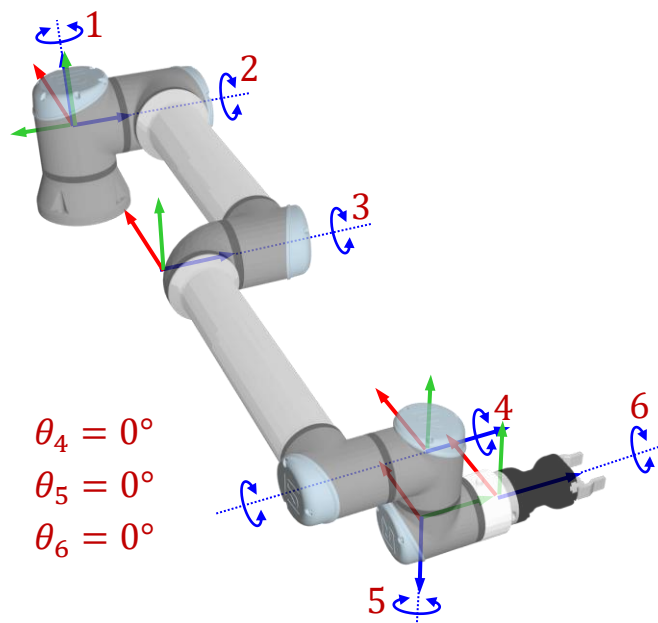


Opis robota w przestrzeni konfiguracyjnej

Konfiguracja

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

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



Proste zadanie kinematyki (kinematyka prosta)

Opis zależności pomiędzy układami współrzędnych dwóch elementów połączenia mechanicznego na podstawie położeń przegubów, które charakteryzują to połączenie.

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

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

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

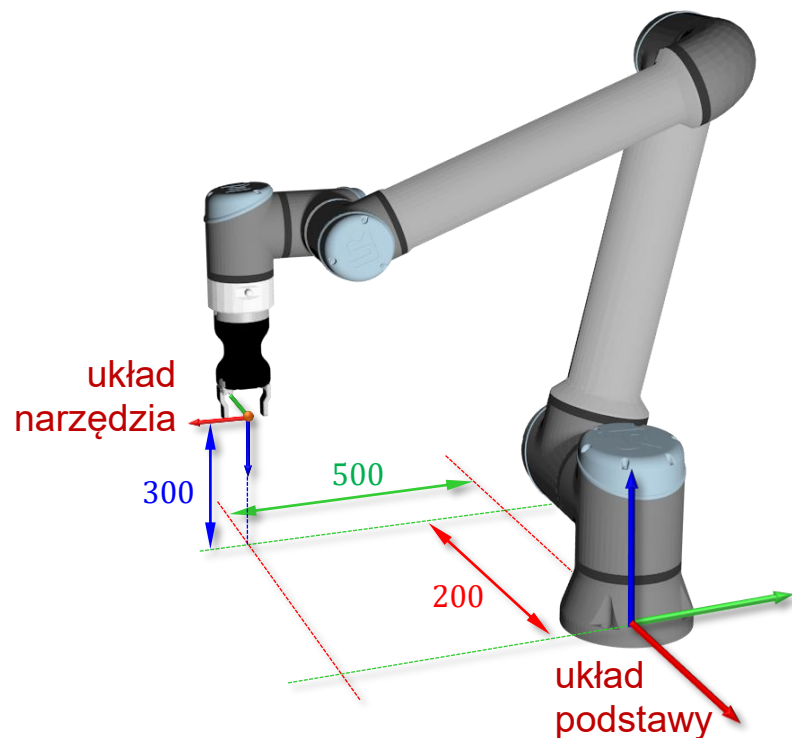
konfiguracja (q)



$$p = k_p(q)$$

pozycja i orientacja narzędzia (p)

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



Odwrotne zadanie kinematyki (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)

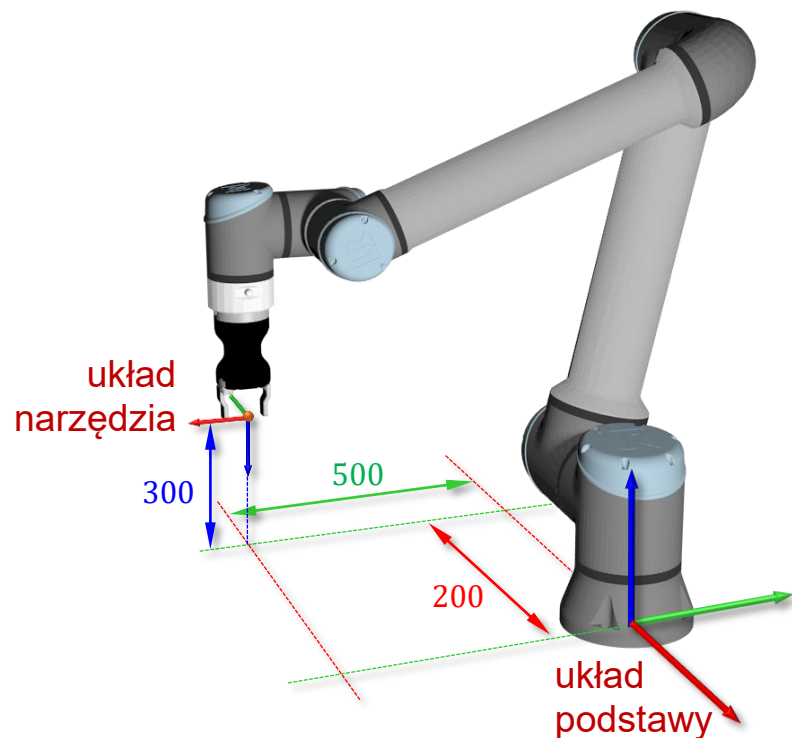


$$q = k_o(p)$$

konfiguracja (q)

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

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



Przestrzeń robocza

Przestrzeń robocza

EN ISO 8373:2021: zbiór punktów przestrzeni, które może osiągnąć punkt referencyjny nadgarstka (punkt przecięcia dwóch najbardziej wewnętrznych osi nadgarstka, tzn. najbliższych osi ramienia)

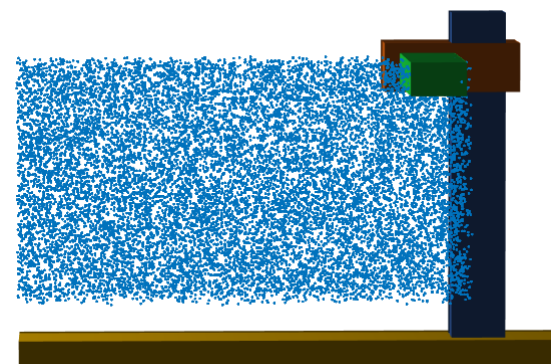
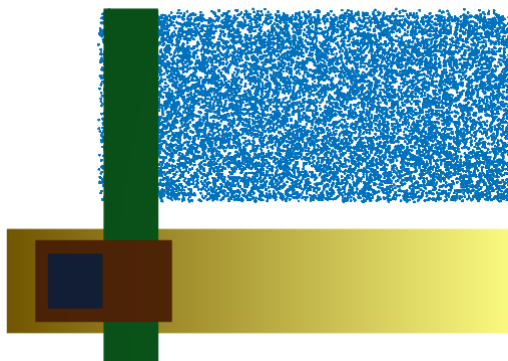
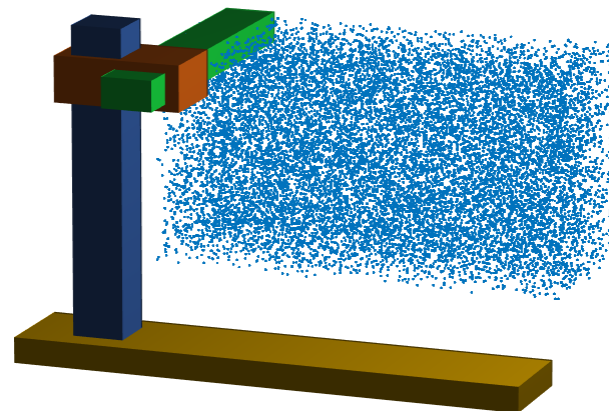
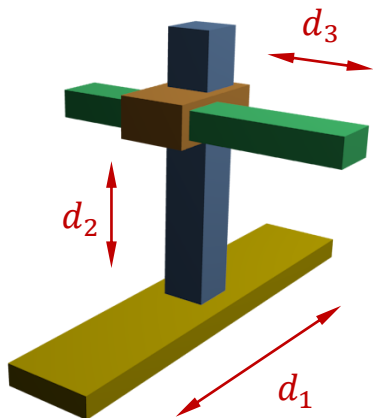
≈ zbiór punktów przestrzeni, które może osiągnąć efektor^{*}

^{*}J. J. Craig, Wprowadzenie do robotyki, WNT, Warszawa 1995

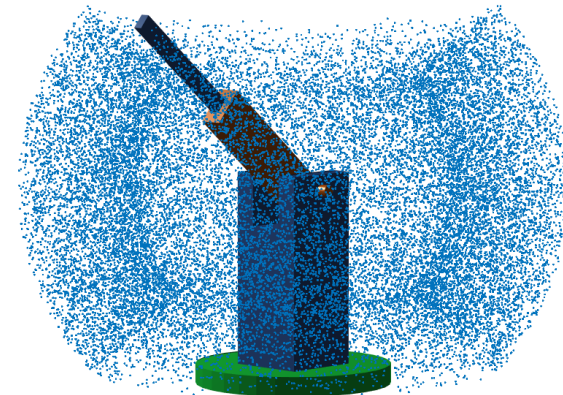
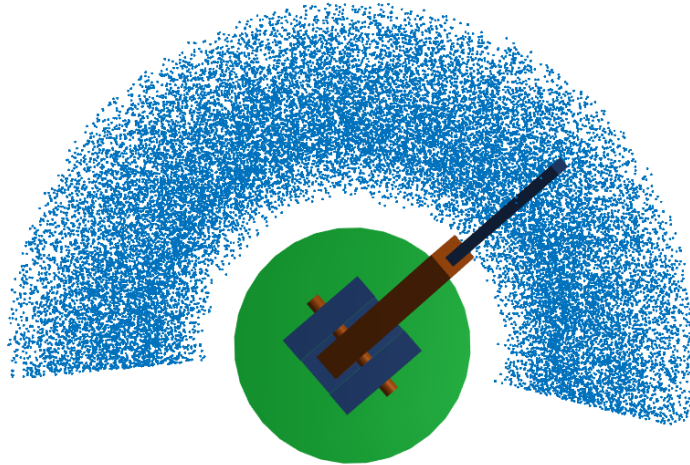
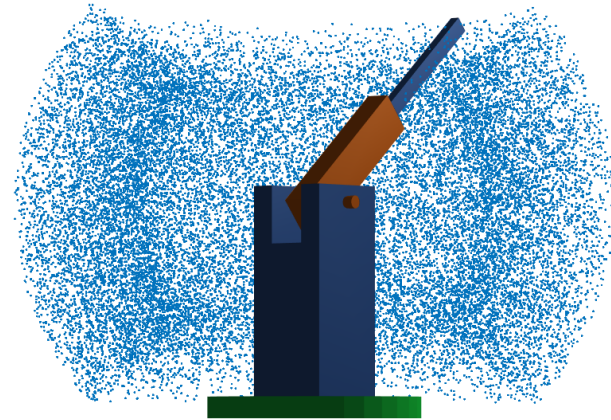
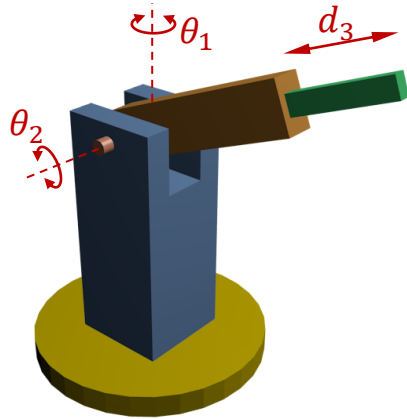
Przestrzeń robocza jest ograniczona przez:

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

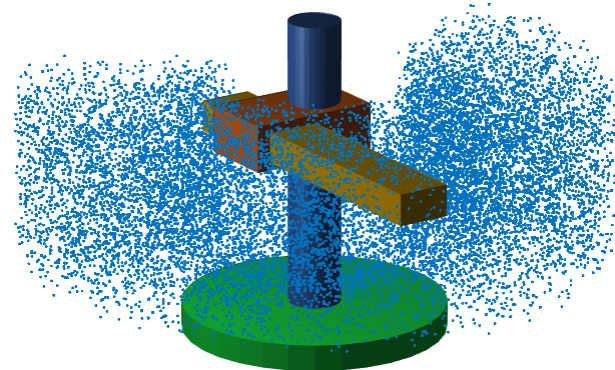
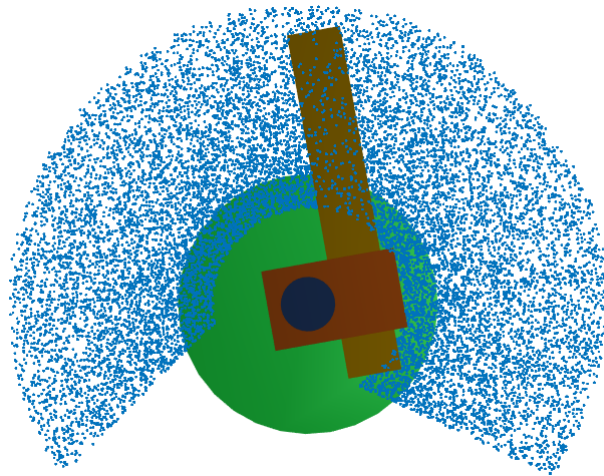
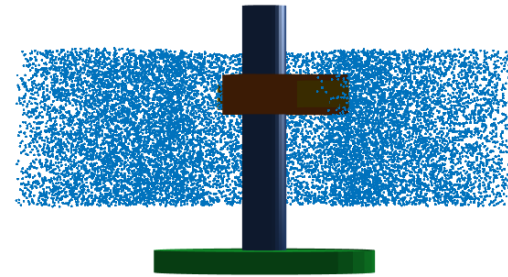
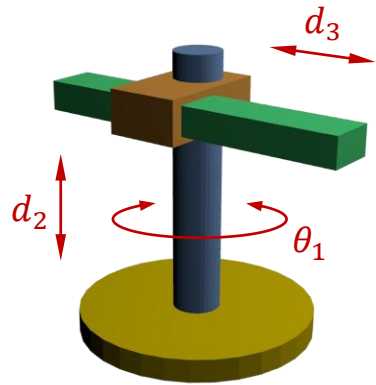
Przestrzeń robocza – manipulator PPP



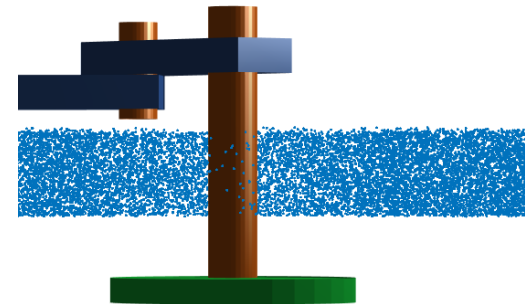
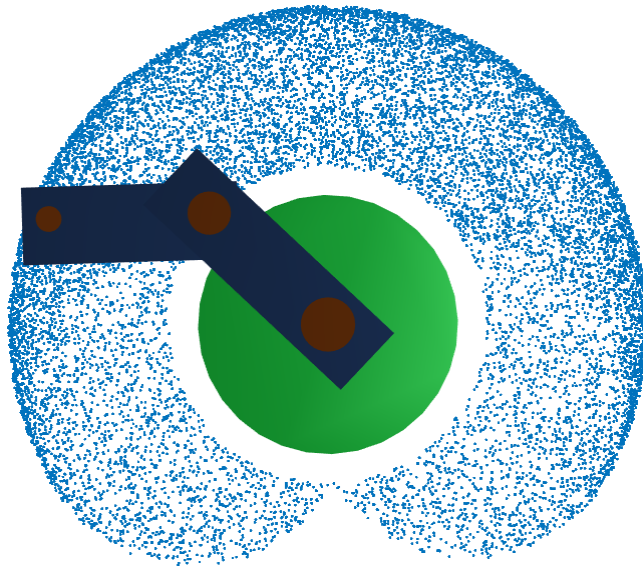
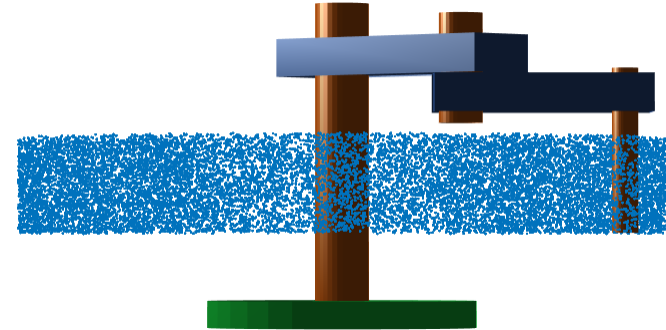
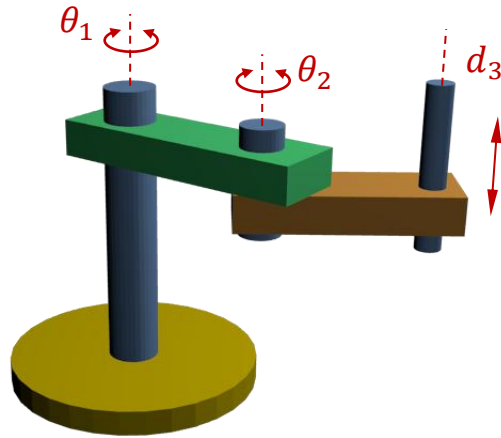
Przestrzeń robocza – manipulator RRP



Przestrzeń robocza – manipulator RPP



Przestrzeń robocza – manipulator SCARA



Planowanie ruchów

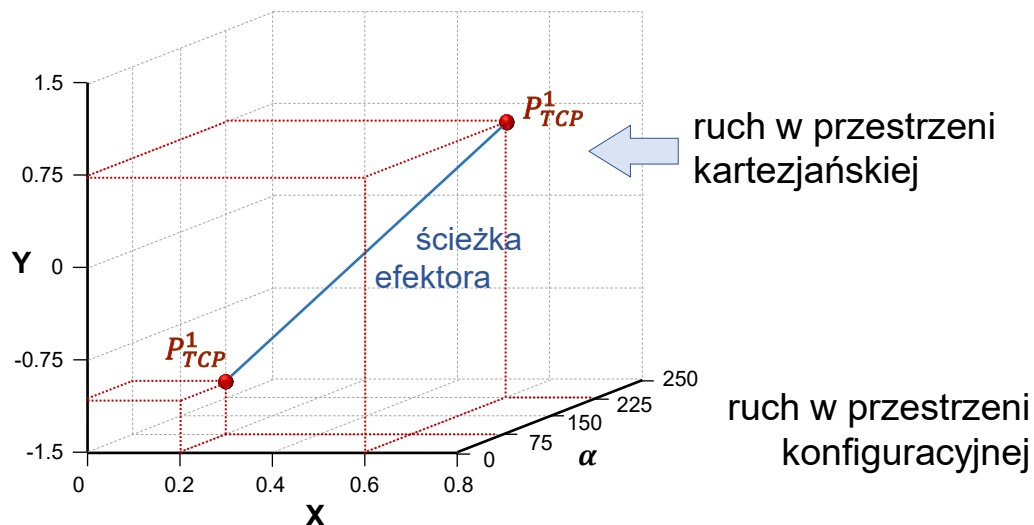
Planowanie ruchów robota

Metody przestrzeni kartezjańskiej (zadania)

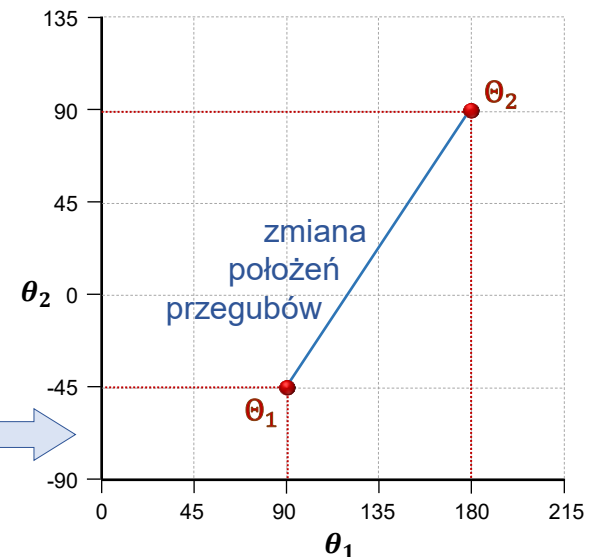
Ruch od zadanego **położenia początkowego TCP** do **położenia końcowego** planowany jest w przestrzeni kartezjańskiej. Kolejne konfiguracje gwarantujące realizację ruchu są wyznaczane z kinematyki odwrotnej.

Metody przestrzeni konfiguracyjnej

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

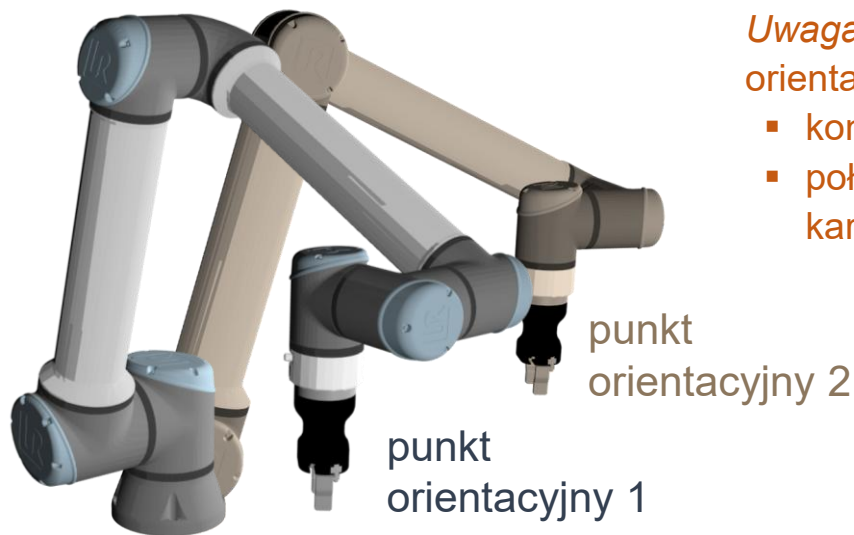


ruch w przestrzeni konfiguracyjnej



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).

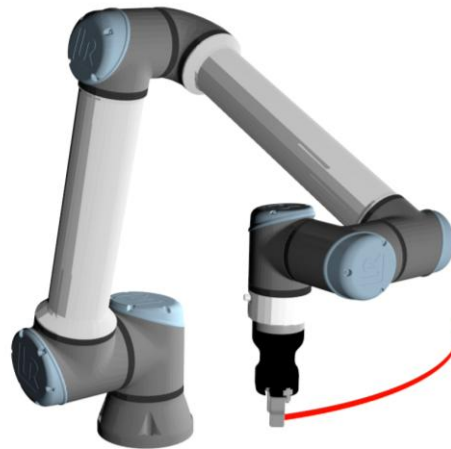


Uwaga: zależnie od sposobu określania zadania punkt orientacyjny może oznaczać:

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

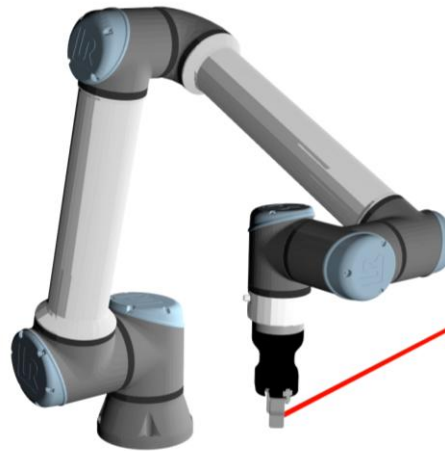
Ruch J

- 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.

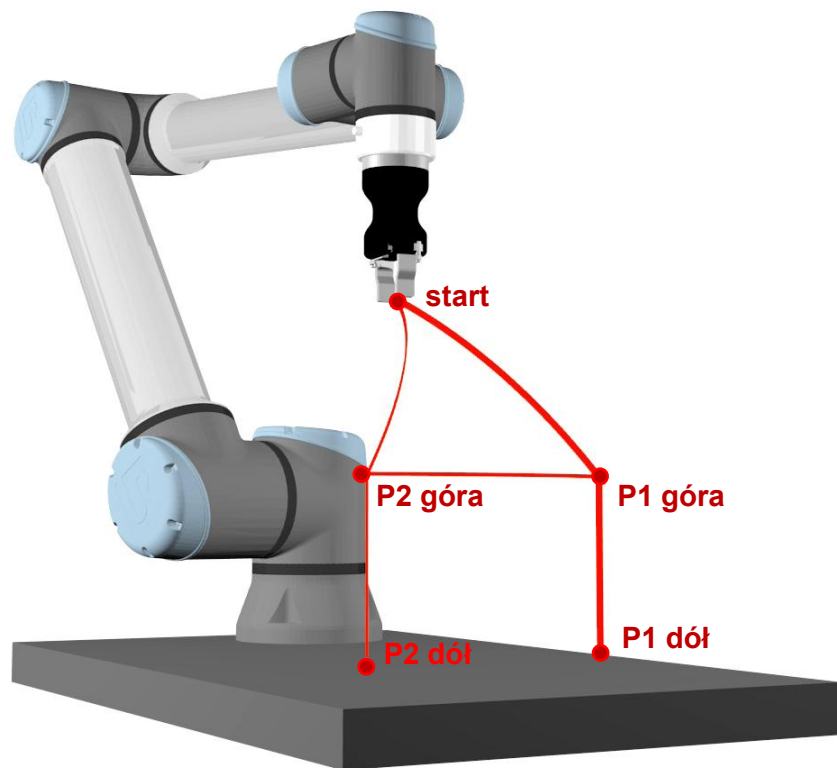


Ruch L

- 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 $\rightarrow$ P1 góra ruch J
2. P1 góra $\rightarrow$ P1 dół ruch L
3. P1 dół $\rightarrow$ P1 góra ruch L
4. P1 góra $\rightarrow$ P2 góra ruch J
5. P2 góra $\rightarrow$ P2 dół ruch L
6. P2 dół $\rightarrow$ P2 góra ruch L
7. P2 góra $\rightarrow$ start ruch J