

Programowanie obrabiarek CNC i robotów przemysłowych

Bezpieczeństwo pracy Sterowanie robotem

Paweł Strączyński

p.straczynski@tu.kielce.pl

Katedra Urządzeń Elektrycznych i Automatyki

Politechnika Świętokrzyska



Ogólne zasady bezpieczeństwa

Robot przemysłowy może być użytkowany tylko w technicznie sprawnym stanie oraz zgodnie z jego przeznaczeniem i z uwzględnieniem zasad bezpieczeństwa oraz grożących niebezpieczeństw.

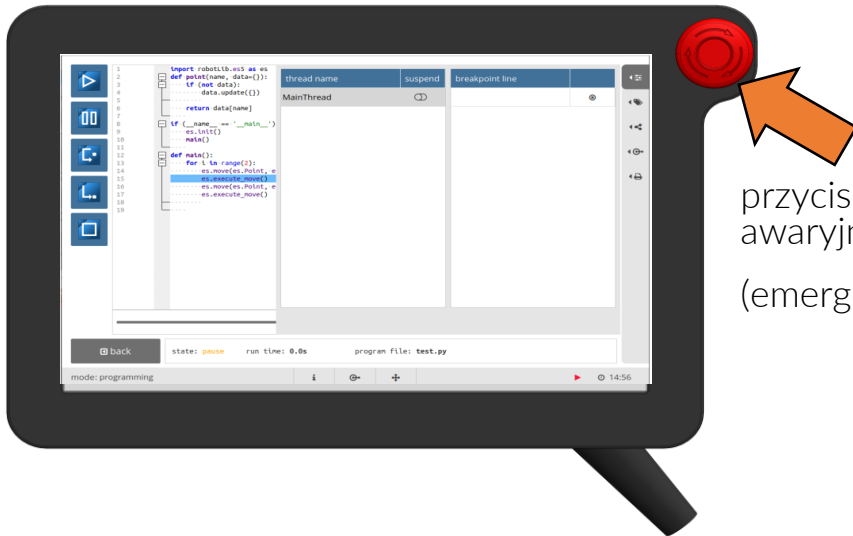
Wszelkie usterki mogące mieć wpływ na bezpieczeństwo pracy na stanowisku zrobotyzowanym powinny być niezwłocznie usuwane.

Należy stosować tylko i wyłącznie oryginalne części zamienne, zgodne ze specyfikacją.

Naprawy, konserwacje i czyszczenie urządzenia należy przeprowadzać zgodnie z wytycznymi instrukcji obsługi.

Należy pamiętać, że robot może generować duży moment obrotowy na przegubach oraz wykonywać bardzo szybkie ruchy, które w skutek kolizji mogą przyczynić się do uszkodzenia ciała lub zagrozić życiu operatora.

Awaryjne zatrzymanie robota

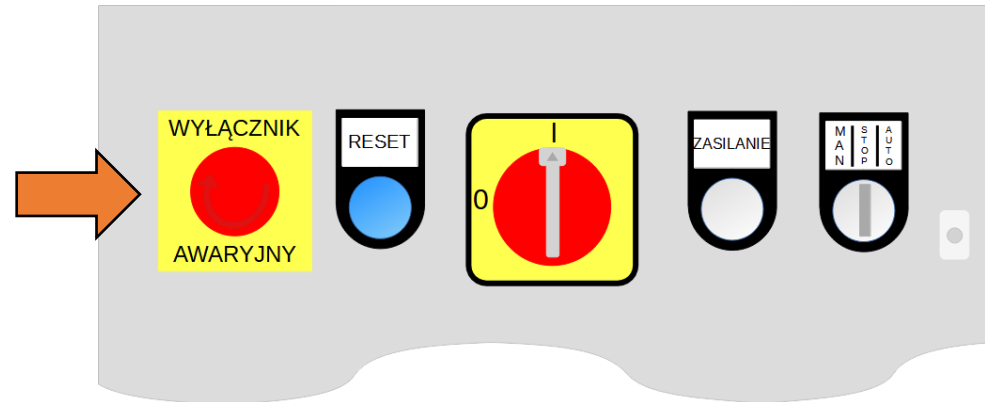


przycisk zatrzymania
awaryjnego
(emergency stop)

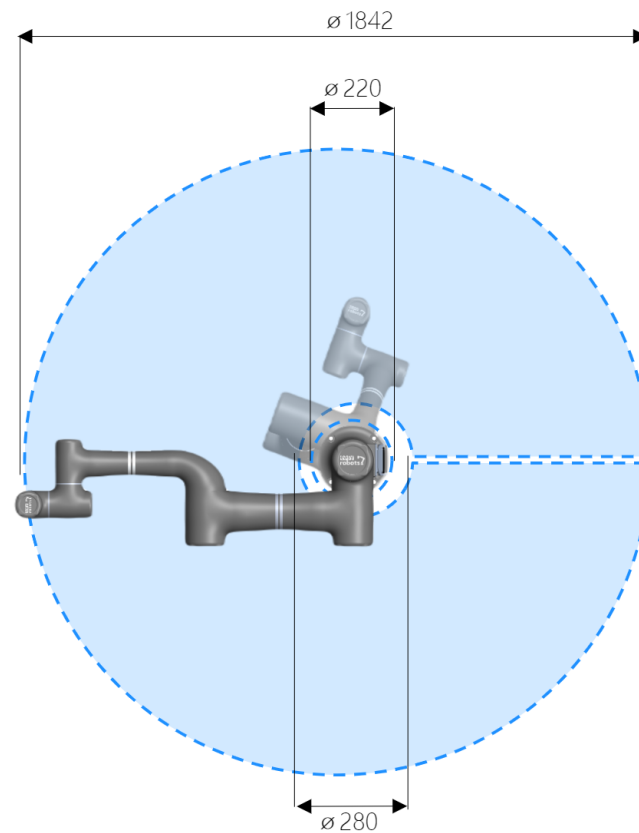
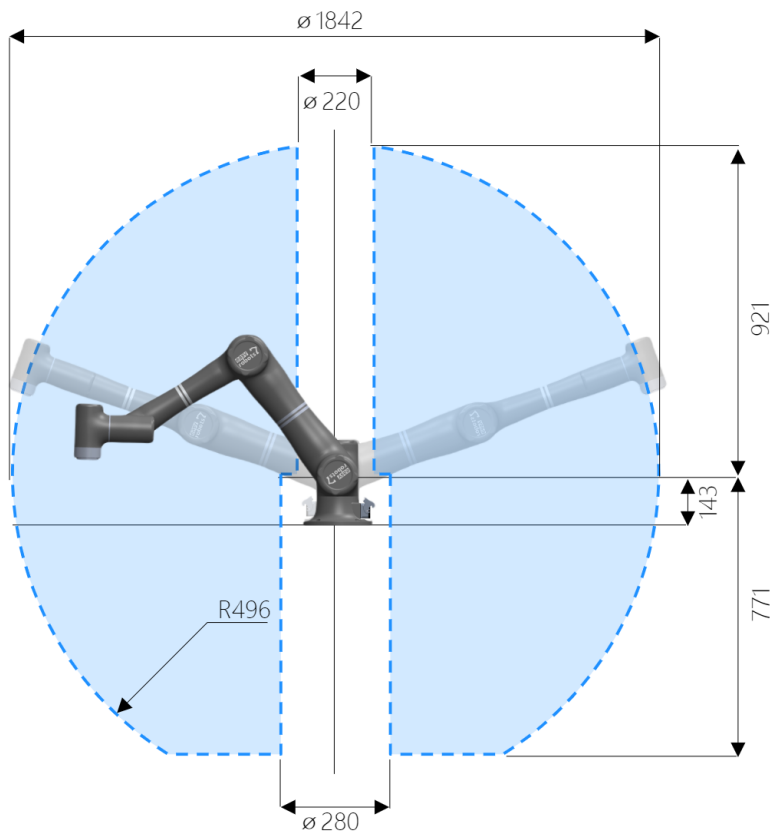
przycisk zezwolenia
(deadman switch)



przycisk zatrzymania
awaryjnego
(emergency stop)



Strefa bezpieczeństwa



Obszar roboczy musi być odseparowany za pomocą urządzeń ochronnych w sposób gwarantujący bezpieczeństwo osobie znajdującej się w pobliżu stanowiska zrobotyzowanego.

Tryby pracy

Tryb programowania

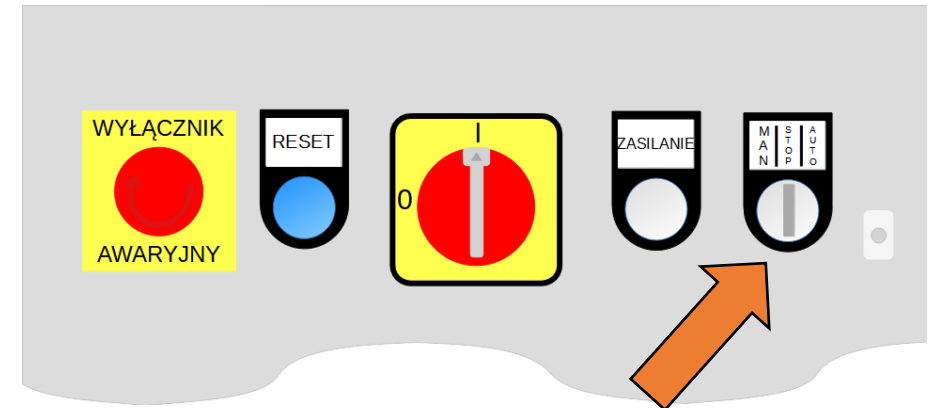
Sterowanie robotem przez operatora, w trybie programowania:

- wyklucza pracę automatyczną,
- ruch robota jest możliwy przy włączonym przycisku zezwolenia,
- prędkość robota jest ograniczona do 250 mm/s dla każdego poruszającego się członu.

Tryb pracy automatycznej

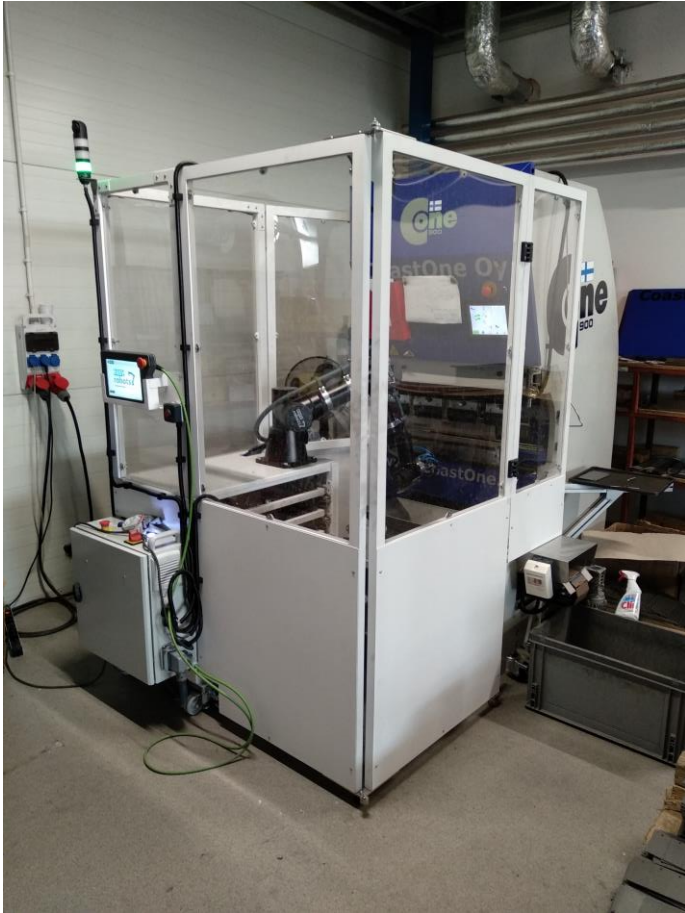
Tryb pracy automatycznej jest wykorzystywany podczas wykonywania automatycznej, cyklicznej pracy robota, z maksymalną zaplanowaną dla opracowanych trajektorii prędkością. W tym trybie powinny działać wszystkie dodatkowe urządzenia bezpieczeństwa. Podczas pracy w trybie automatycznym:

- robot może poruszać się z maksymalnymi dopuszczalnymi prędkościami,
- przycisk zezwolenia nie jest obsługiwany,
- zabrania się sterowania w trybie ręcznym



przełącznik trybu pracy

Dodatkowe wyposażenie ochronne



W celu zapewnienia bezpieczeństwa integrator zobowiązany jest zastosować wygradzenia. Wygradzeń tych nie wolno usuwać. Wyjątek stanowią operacje przeprowadzenia konserwacji/napraw, po których wygradzenia muszą być ponownie zainstalowane ze wszystkimi mocowaniami i wszelkimi urządzeniami zabezpieczającymi.

Zatrzymanie awaryjne

Kategorie zatrzymania

Typ zatrzymania awaryjnego definiuje się poprzez pojęcie "Stop Category". Jest to klasyfikacja określająca w jaki sposób ruch robota powinien być zatrzymany aby zachować znamiona zatrzymania bezpiecznego. Wyróżnia się trzy różne typy (na podstawie EN 60204-1):

- Kategoria 0 - niekontrolowane zatrzymanie silnika - w sytuacji zagrożenia zasilanie zostaje natychmiast odłączone od silnika robota, a hamulce załączone.

Silnik przestaje generować moment obrotowy, lecz nadal obraca się pod wpływem działania sił bezwładności, aż do momentu całkowitego zatrzymania.

- Kategoria 1 - energia jest wciąż dostarczana do napędu, którego zatrzymanie ma nastąpić w skutek procesu hamowania. Po całkowitym zatrzymaniu następuje odcięcie zasilania.

- Kategoria 2 - energia jest wciąż dostarczana do napędu, którego zatrzymanie ma nastąpić wskutek procesu hamowania. Po całkowitym zatrzymaniu NIE następuje odcięcie zasilania

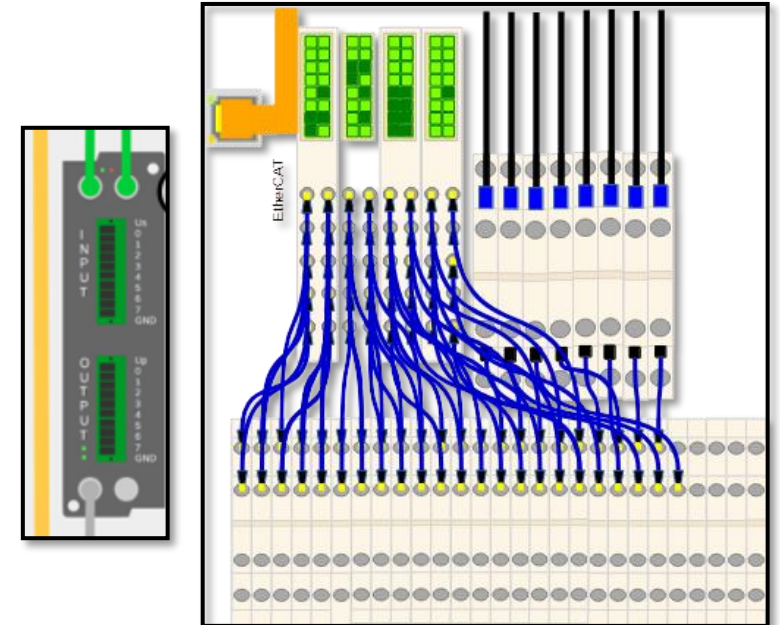
	Odległość zatrzymania	Czas zatrzymania
Przegub 1-2	80°	0,5 [s]
Przegub 3	64°	0,4 [s]
TCP	0,85 [m]	0,5 [s]

Obsługa wejść/wyjść

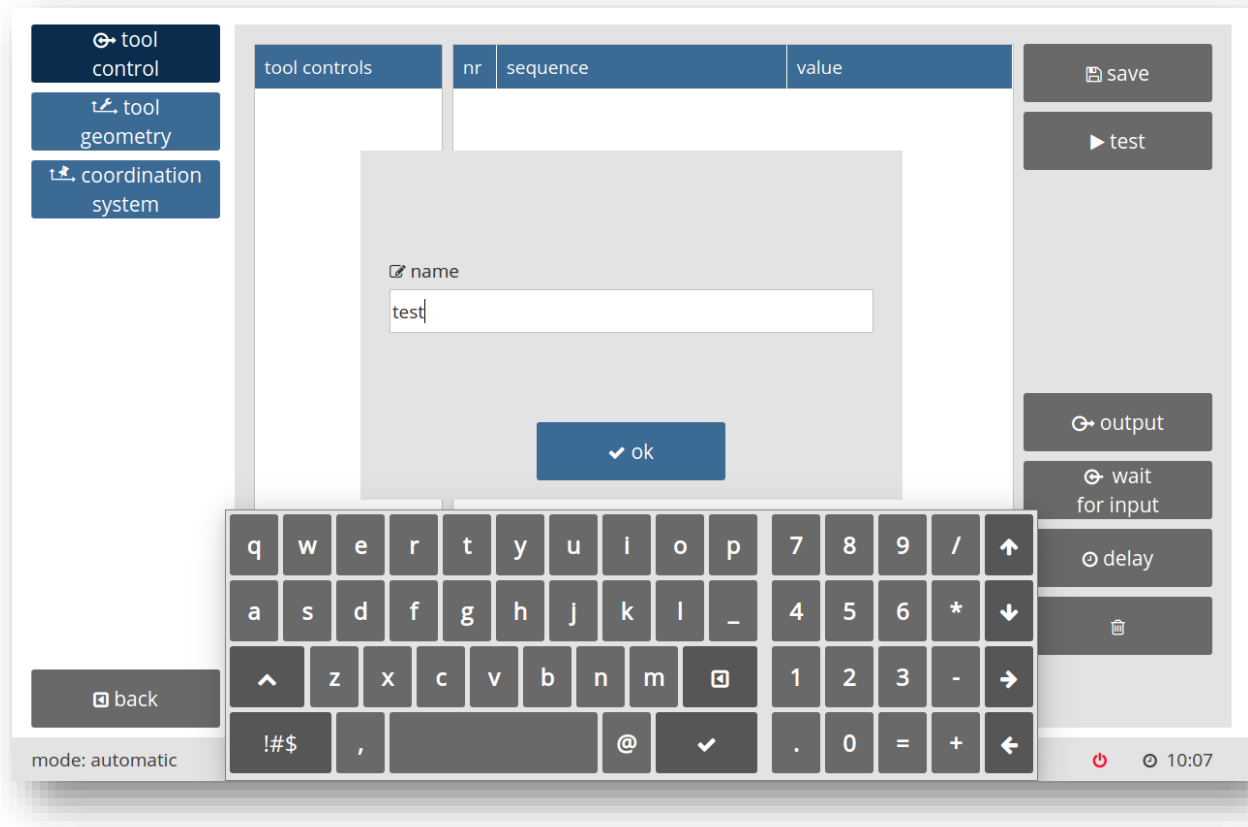
Inputs			Outputs		
nr	name	value	nr	name	value
1	input 1	off	1	output 1	off
2	input 2	off	2	output 2	off
3	czujnik1	off	3	siłownik1	off
4	input 4	off	4	output 4	off
5	input 5	off	5	output 5	on
6	input 6	off	6	output 6	off
7	input 7	off	7	output 7	off
8	input 8	off	8	output 8	on

mode: automatic

i   10:16

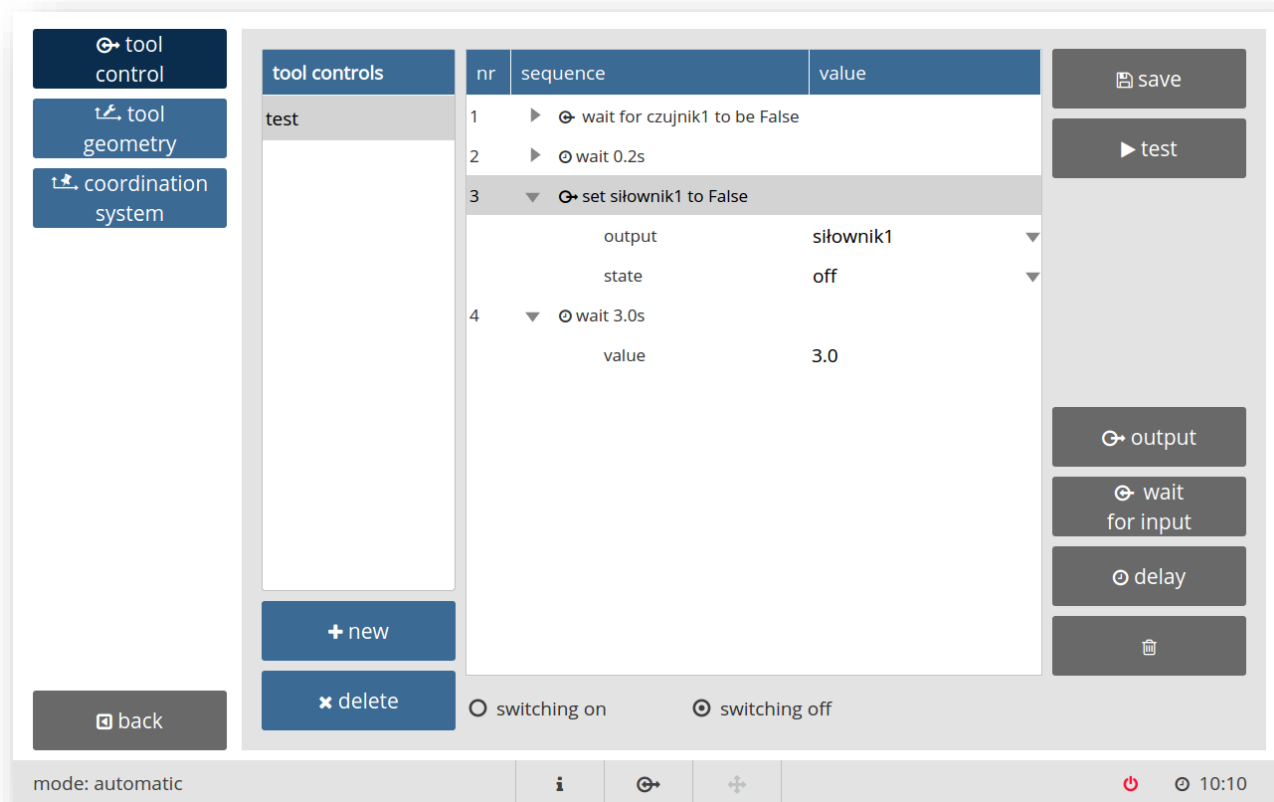


Konfiguracja narzędzi - zarządzanie



Metody obsługi narzędzia są to sekwencje uruchamiania i zwalniania narzędzia. Zbudowane są z operacji dokonywanych na wyjściach I/O oraz komend oczekiwania

Konfiguracja narzędzi – definiowanie sekwencji



Podczas budowania sekwencji dostępne są trzy typy komend:

- **output** , ustawianie określonego stanu na dane wyjście I/O,
- **wait for input** , oczekiwanie na wystąpienie danego stanu na wybranym wejściu I/O,
- **delay** , oczekiwanie przez zadaną liczbę sekund

Ruch ramienia robotycznego



1. Sekcja parametrów ruchu,
2. Sekcja zdefiniowanych pozycji manipulatora,
3. Sekcja poruszania ramieniem robota,
4. Sekcja poleceń ruchu

Ruch ramienia robotycznego

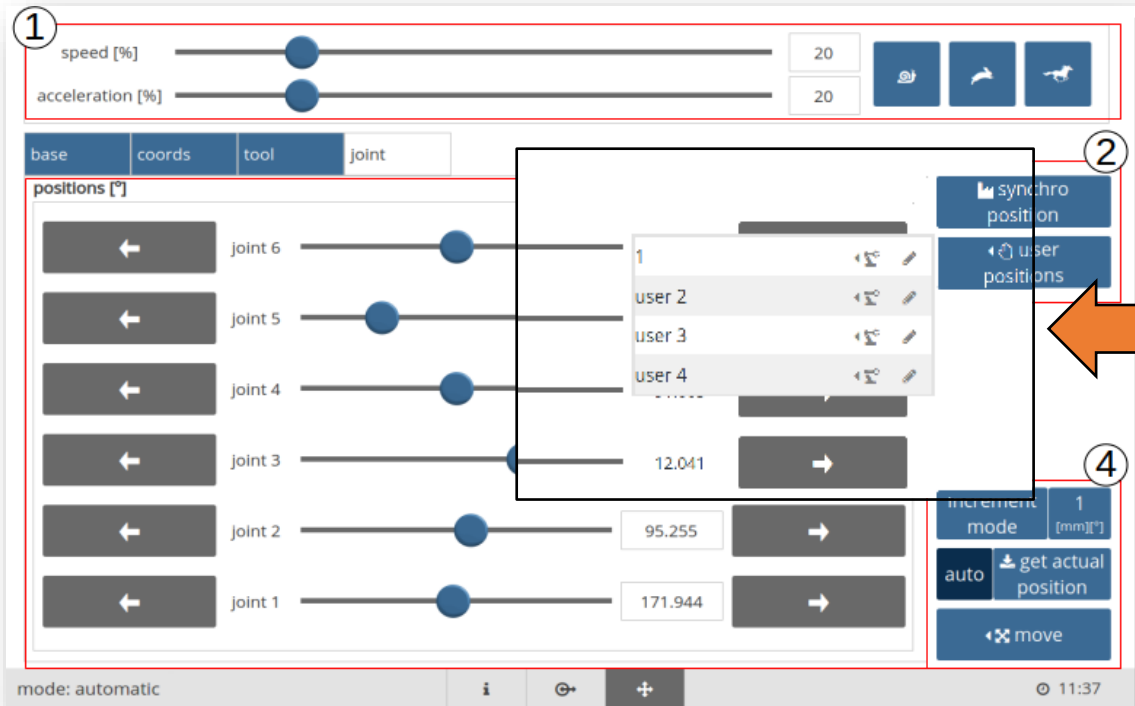


1. Sekcja parametrów ruchu,
2. Sekcja zdefiniowanych pozycji manipulatora,
3. Sekcja poruszania ramieniem robota,
4. Sekcja poleceń ruchu

Poruszanie ramieniem robota możliwe jest poprzez wybranie jednej z czterech dostępnych zakładek:

- **base** poruszanie robotem w przestrzeni kartezyjskiej względem pozycji operatora,
- **coords** poruszanie robotem w przestrzeni kartezyjskiej względem wybranego układu odniesienia,
- **tool** poruszanie robotem w przestrzeni kartezyjskiej względem wybranego układu współrzędnych narzędzia,
- **joint** poruszanie robotem w przestrzeni przegubów.

Ruch ramienia robotycznego



zdefiniowane pozycje manipulatora

Ruch ramienia robotycznego



Domyślne tryby dynamiki	Prędkość	Przyspieszenie
Wolny	1%	5%
Normalny	20%	20%
Szybki	50%	35%

Aby zmienić domyślną wartość należy ustawić prędkość oraz przyspieszenie na żadaną wartość oraz przytrzymać klawisz wybranego trybu przez dwie sekundy.

Kinematyka prosta i odwrotna manipulatora

Położenie poszczególnych par kinematycznych manipulatora określa się w podstawowym układzie w układzie współrzędnych złączowych (osiowych).

Zmiennymi złączowymi będą odpowiednio **kąt** dla złącza obrotowego oraz **przesunięcie** dla złącza translacyjnego.

Pomiary wartości zmiennych złączowych (np. kąty dla poszczególnych osi manipulatora 6-cio osiowego) realizowane są najczęściej z wykorzystaniem **enkoderów**.

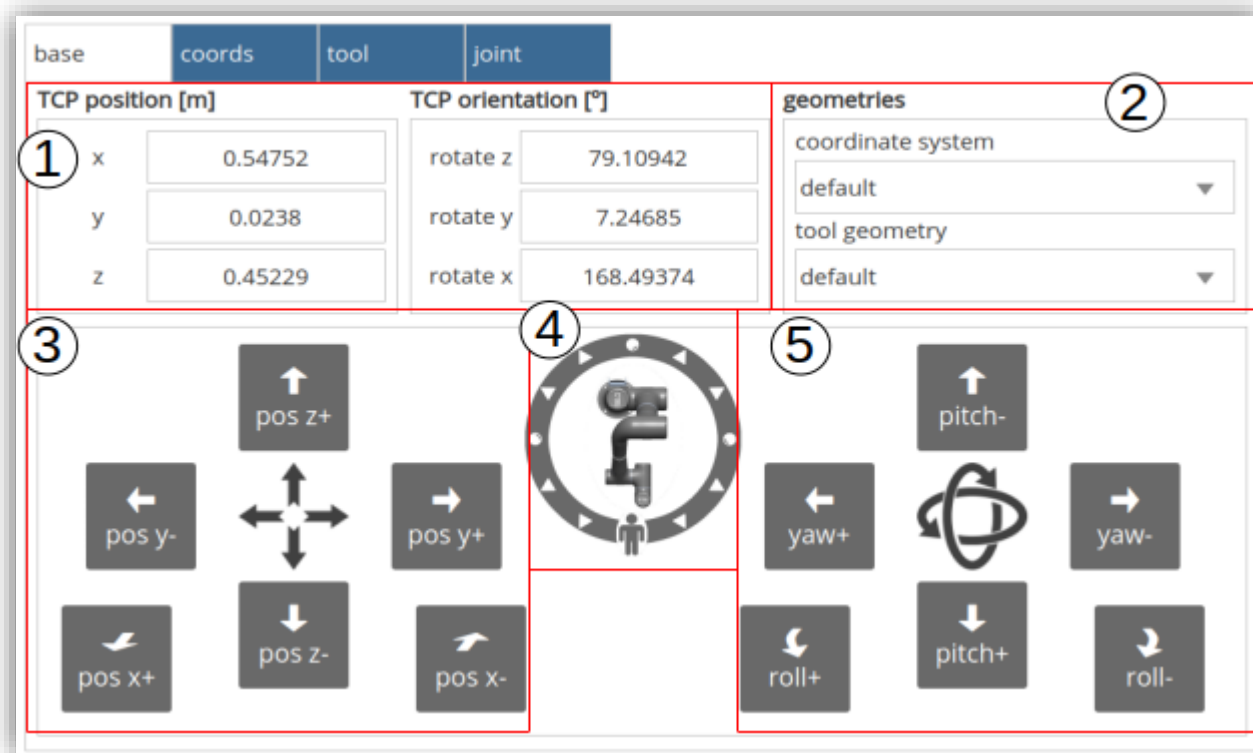
Aby przeliczyć wartości w złączach robota na położenie końcówki w układzie kartezjańskim wykorzystuje się równania kinematyki robota które w robotyce nazywane jest **zadaniem prostym kinematyki**. W kinematyce prostej pokazano jak określać pozycję i orientację końcówki roboczej w zależności od zmiennych przegubowych.

Zadanie odwrotne kinematyki zajmuje się znalezieniem zmian współrzędnych złączowych robota aby otrzymać odpowiednie położenie i rotację końcówki w układzie kartezjańskim.

Ruch ramienia robotycznego w przestrzeni przegubów



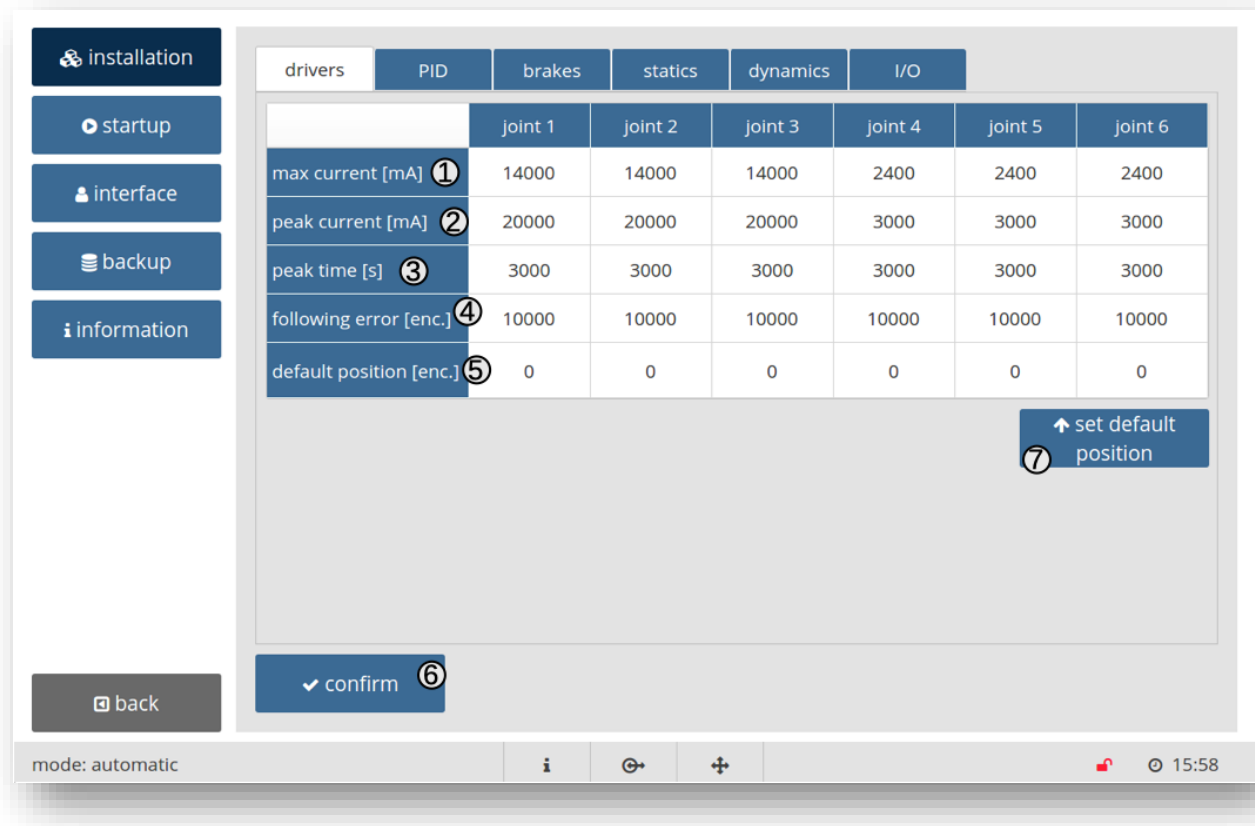
Ruch ramienia robotycznego w przestrzeni kartezyjskiej



Przed wykonaniem ruchu w przestrzeni kartezyjskiej należy upewnić się, że ustawiono prawidłowy układ odniesienia oraz geometrię narzędzia!

Zakładki **base**, **coords**, **tool** umożliwiają poruszanie robotem w przestrzeni kartezyjskiej tj. przemieszczanie efektora robota w przestrzeni trójwymiarowej (x,y,z).

Konfiguracja parametrów serwonapędów



1. Konfiguracja limitu prądu ciągłego.
2. Konfiguracja limitu prądu chwilowego oraz maksymalnego czasu jego trwania.
3. Konfiguracja błędu nadążania wyrażona w ilości impulsów enkodera.
4. Konfiguracja domyślnej pozycji wyrażona w ilości impulsów enkodera.
5. Zapis nastawianych parametrów.
6. Pobiera aktualne pozycje przegubów i ustawia jako domyślne

Konfiguracja nastaw regulatorów PID

	joint 1	joint 2	joint 3	joint 4	joint 5	joint 6
position Kp ①	150	150	150	200	200	200
position Ki ②	700	700	700	700	700	700
position Kd ③	150	150	150	150	150	150
position Kvff ④	1000	1000	1000	1000	1000	1000
position Kaff ⑤	0	0	0	0	0	0
position KlxR ⑥	0	0	0	0	0	0
speed Kp ⑦	50	50	50	50	50	50
speed Ki ⑧	100	100	100	100	100	100
current Kp ⑨	110	110	110	140	140	140
current Ki ⑩	50	50	50	60	60	60

confirm ⑪

mode: automatic i ⏏ ⏻ 15:58

1. Nastawa członu proporcjonalnego regulatora pozycji.
2. Nastawa członu całkującego regulatora pozycji.
3. Nastawa członu różniczkującego regulatora pozycji.
4. Parametr definiuje sprzężenie zwrotne prędkości.
5. Parametr definiuje sprzężenie zwrotne przyspieszenia.
6. Parametr pozwala na kompensację wpływu rezystancji uzwojeń i przewodów zasilania na pracę układu regulacji.
7. Nastawa członu proporcjonalnego regulatora prędkości.
8. Nastawa członu całkującego regulatora prędkości.
9. Nastawa członu proporcjonalnego regulatora prądu.
10. Nastawa członu całkującego regulatora prądu.
11. Zapis nastaw i parametrów regulatora

Konfiguracja parametrów statycznych

installation

startup

interface

backup

information

back

mode: programming

statics

joint limits

	joint 1	joint 2	joint 3	joint 4	joint 5	joint 6
enable ①	✓	✓	✓	✓	✓	✓
minimum [°] ②	0.65	-100.0	-146.1	-85.3	0.0	-360.0
maximum [°] ③	350.17	250.91	146.1	265.2	359.82	360.0

cartesian limits

	x-axis	y-axis	z-axis
enable ④	✗	✗	✗
minimum [m] ⑤	-1.2	-1.2	-1.2
maximum [m] ⑥	1.2	1.2	1.2

confirm ⑦

1. Aktywować lub dezaktywować limit na wybranym przegubie robota.
2. Ustawić dolny limit pozycji na wybranym przegubie.
3. Ustawić górny limit pozycji na wybranym przegubie.
4. Aktywować lub dezaktywować limit dla wybranej osi kartezjańskiego układu współrzędnych (x,y,z).
5. Ustawić dolny limit pozycji dla wybranej osi kartezjańskiego układu współrzędnych (x,y,z).
6. Ustawić górny limit pozycji dla wybranej osi kartezjańskiego układu współrzędnych (x,y,z).
7. Zatwierdzić wprowadzone parametry.

Konfiguracja parametrów dynamicznych

installation

startup

interface

backup

information

drivers PID brakes statics **dynamics** I/O

joint limits

	joint 1	joint 2	joint 3	joint 4	joint 5	joint 6
following error [°/s] ①	3.44	3.44	3.44	2.86	2.86	2.86
max. speed [°/s] ②	160.0	160.0	160.0	180.0	180.0	180.0
max. acceleration [°/s²] ③	540.0	540.0	540.0	540.0	540.0	540.0

cartesian limits ④

max. linear speed [m/s] ④	max. angular speed [°/s] ⑤	max. linear accel. [m/s²] ⑥	max. angular accel. [°/s²] ⑦
2.0	180.0	4.0	520.0

confirm ⑧

back

mode: programming

i ↺ + 🔴 17:29

1. Wartość błędu nadążania na wybranym przegubie robota.
2. Maksymalną prędkość kątową na wybranym przegubie.
3. Maksymalne przyspieszenie kątowe na wybranym przegubie.
4. Maksymalną prędkość liniową efektora.
5. Maksymalną prędkość kątową rotacji efektora.
6. Maksymalne przyspieszenie liniowe efektora.
7. Maksymalne przyspieszenie kątowe rotacji efektora

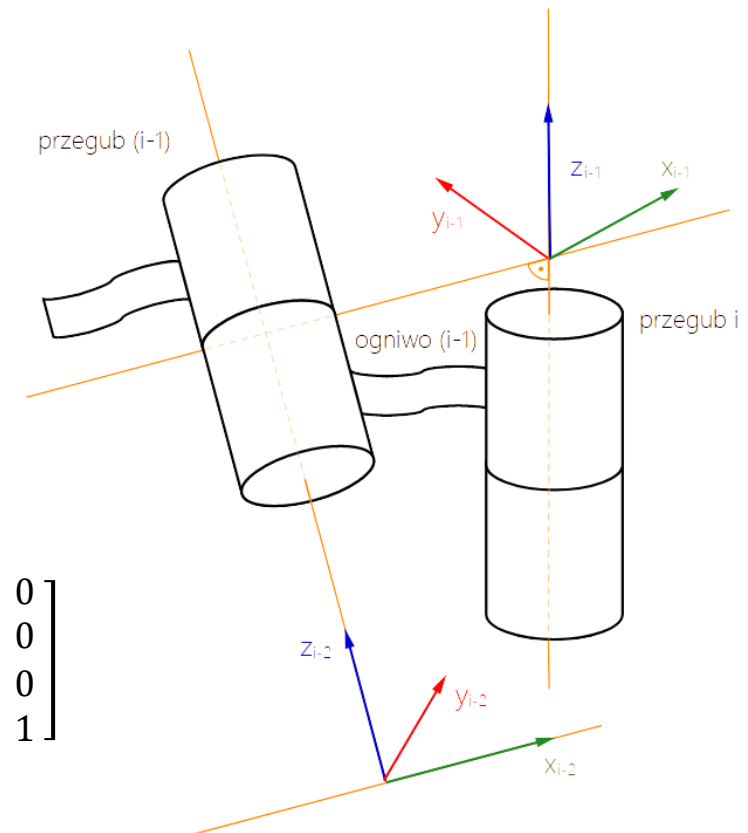
Notacja Denavita-Hartenberga

Notacja Denavita-Hartenberga (DH) polega na związaniu z każdym przegubem manipulatora lokalnego układu współrzędnych. Notacja DH opiera się na następujących założeniach:

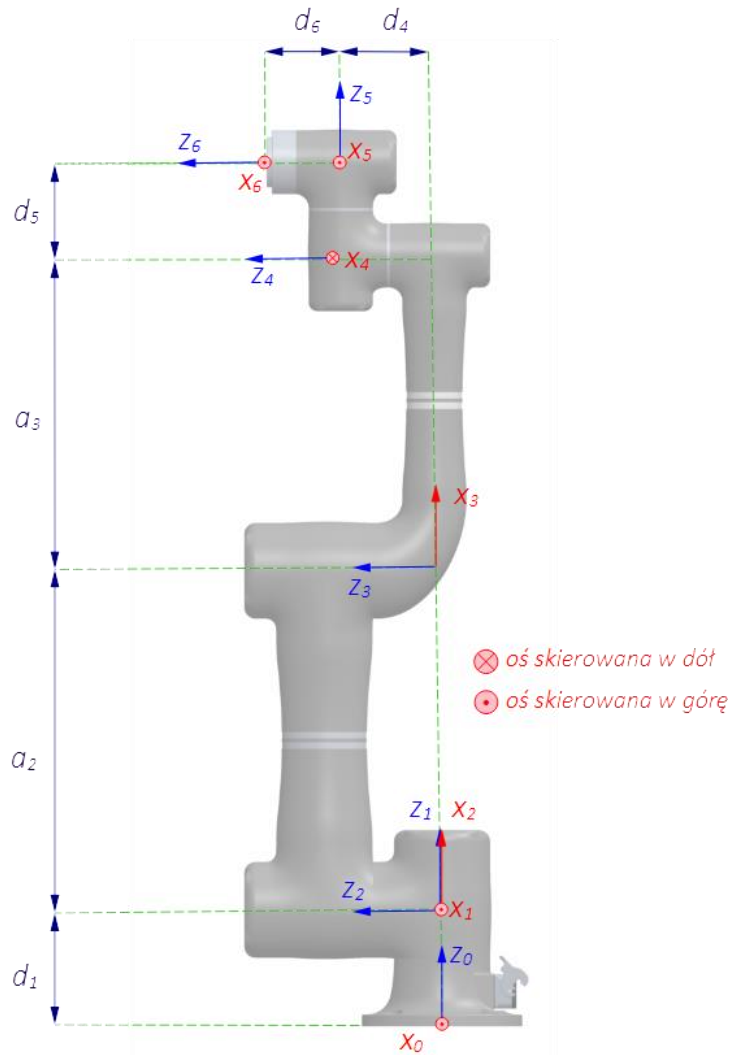
- sztywność poszczególnych członów,
- ruch odbywa się tylko względem osi X lub względem osi Z,
- pojedyncze przekształcenie zawsze wyrażone jest przez zestaw czterech parametrów:
 - kąt obrotu względem osi Z,
 - przesunięcie względem osi Z,
 - przesunięcie względem osi X
 - kąt obrotu względem osi X).

$$A_i = Rot_{z,\theta_i} Trans_{z,d_i} Trans_{x,a_i} Rot_{x,\alpha_i}$$

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_i) & -\sin(\alpha_i) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Notacja Denavita-Hartenberga



Przegub i	θ_i [deg]	d_i [m]	a_{i-1} [m]	α_{i-1} [deg]
1	θ_1	0	0	0
2	θ_2	0	0	90
3	θ_3	0	a_2	0
4	θ_4	d_4	a_3	0
5	θ_5	d_5	0	90
6	θ_6	d_6	0	90