

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie



Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Roboty Usługowe

Humanoidalna dłoń robota

Michał Kubik
mkubik@student.agh.edu.pl
Inżynieria Mechatroniczna
III rok, III grupa projektowa
Nr Indeksu: 406065

Spis treści:

1. *Wprowadzenie*
2. *State of Art*
3. *Wizualizacja i zasada działania*
4. *Model kinematyczny robota*
5. *Obliczenia ruchliwości*
6. *Kinematyka prosta*
7. *Kinematyka odwrotna*
8. *Kod z Matlabu do obliczenia kinematyki*
9. *Rysunek złożeniowy i 3 rysunki wykonaw*

1. Wprowadzenie

Humanoidalna dłoń robota, ma za zadanie naśladować podstawowe funkcje motoryczne ludzkiej dłoni, tzn. powinna między innymi potrafić :

- uchwycić przedmioty o różnych kształtach i wielkościach
- podnieść przedmiot o maksymalnej wadze do 5 [kg]
- naśladować różnego rodzaju gesty wykonywane przez człowieka (np. język migowy)
- precyzyjnie pozycjonować poszczególne palce

Manipulator ten można wykorzystywać m.in. w medycynie jako protezę dla ludzi po amputacji, aby odzyskali część sprawności po utracie dłoni oraz także w miejscach takich jak np. laboratoria, gdzie można w ten sposób ograniczyć kontakt ludzi z substancjami szkodliwymi i niebezpiecznymi dla człowieka.

2. State of Art

Stawiane wymagania

- Brak drgań robota
- Precyzja w pozycjonowaniu końcówki palców
- Możliwość chwycenia i utrzymania obiektu

Przykładowe rozwiązania

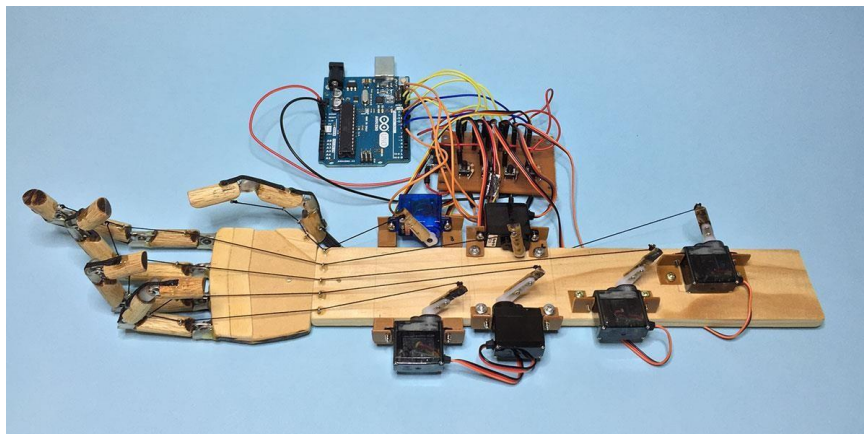
Naczelnym sposobem sterowania przy użyciu 5 napędów dla dłoni jest rozwiązanie korzystające z linek przeciągniętych do palców.

Zginanie palców przebiega za pomocą kontrolowania napięcia linki poprzez obrót serwonapędu, co sprawia, że linka symuluje działanie ludzkiego ścięgna.

To uproszczenie za pomocą linek sprawia, że znacznie ograniczamy ilość stopni swobody oraz poziom skomplikowania układu.

ROZWIĄZANIE #1

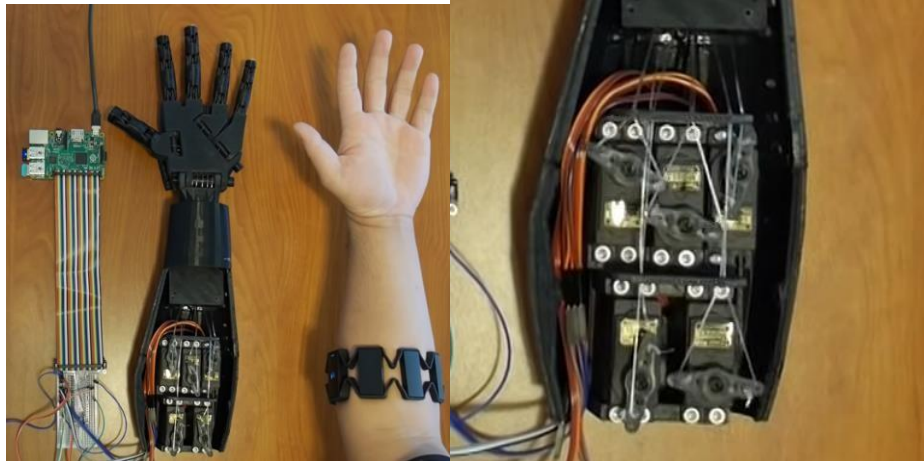
Korzystanie z 1 linki dla 1 palca – powrót palca za pomocą siły grawitacji po zwolnieniu serwonapędu



Rozwiązanie to jest najprostszym możliwym rozwiązaniem tego zagadnienia, lecz ma dużo wad. Największą z nich jest fakt iż dłoń wykonana w taki sposób może być używana tylko w orientacji pozwalającej na bezwładne opadnięcie palców w momencie cofnięcia linki.

ROZWIĄZANIE #2

Korzystanie z 1 linki dla 1 palca – wyprostowanie palca z pomocą drugiej linki przyłączonej po drugiej stronie palca



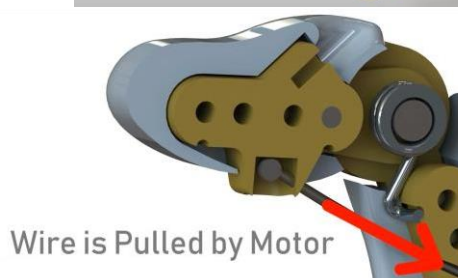
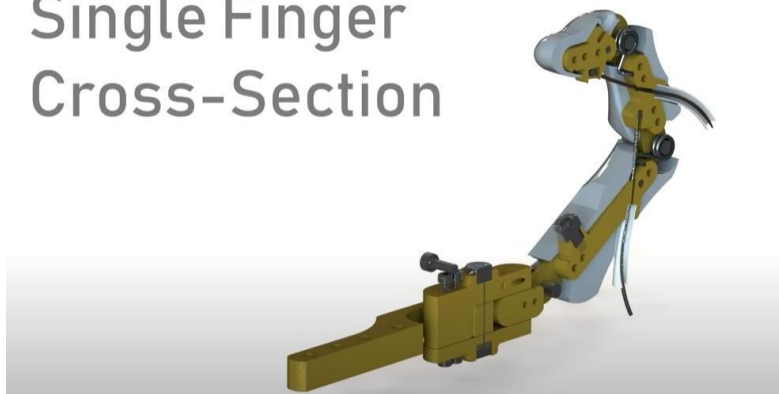
Na powyższych zdjęciach można zauważyć wykorzystanie 10 linek (po 2 na każdy palec) połączone zserwomotorem w ten sposób aby był on w stanie jednocześnie z poluzowaniem linki ściskającej

palec, naciągnąć linkę prostującą palec, przez co możemy osiągnąć dosyć szybkie i dokładniejsze sterowanie poszczególnymi manipulatorami.

ROZWIĄZANIE #3

Korzystanie z 1 linki dla 1 palca – powrót za pomocą sprężyny skrętnej umieszczonej w miejscu stawu

Single Finger Cross-Section



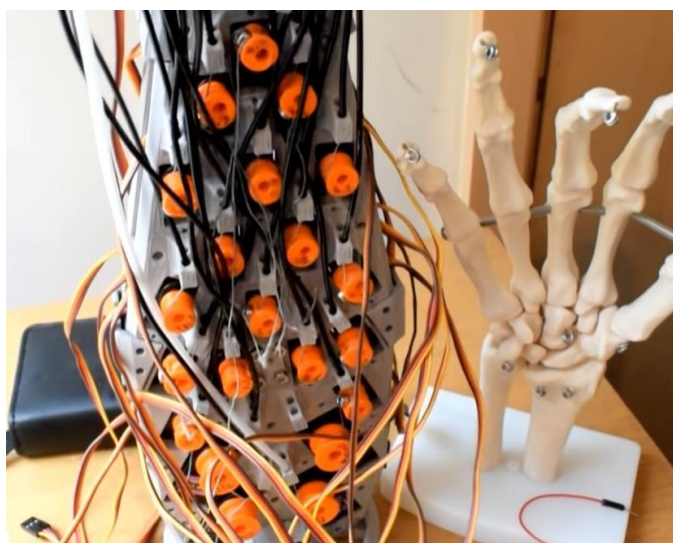
Torsion Spring Returns Joint to Neutral Position



Zginanie palców przebiega w podobny sposób jak w rozwiązaniu #1, lecz zastosowanie sprężyny w tym miejscu pozwala na samoistny powrót poszczególnych członów manipulatora po pozycji początkowej bez względu na orientację układu co eliminuje jedną z największych wad pierwszego układu.

Moim zdaniem to rozwiązanie jest najlepszym wyborem i to ono zostało przeze mnie wykorzystane w tym projekcie.

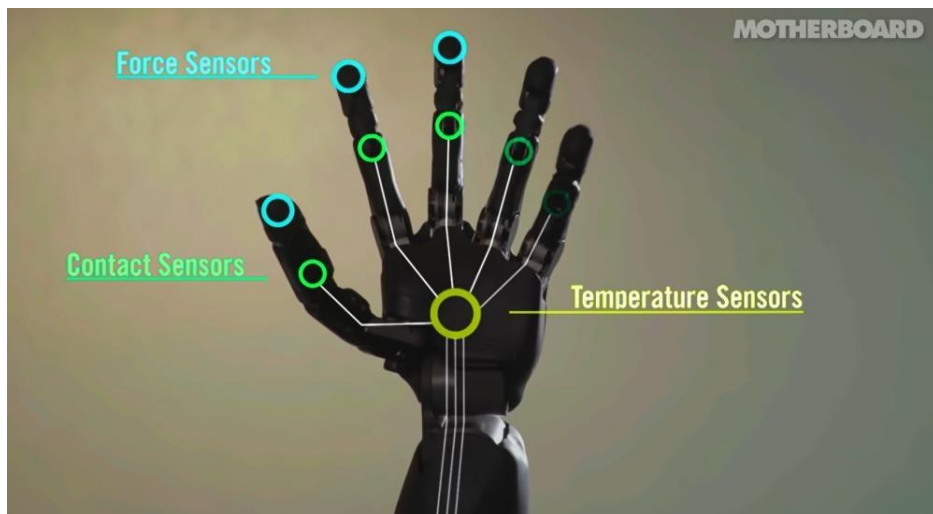
Aby w najlepszy sposób odzwierciedlić działanie ludzkiej ręki należałoby użyć o wiele więcej napędów niż zostało użyte w tym projekcie. Ludzka dłoń może się poruszać w około 23 stopniach swobody więc aby uzyskać realistyczną symulację ludzkiej dłoni należałoby użyć mniej więcej 23 napędów z cięgnami (zdjęcie poniżej)



Warto także wspomnieć o paru innych rozwiązaniach nieopierających się na mechanizmach cięgowych jak wymienione wyżej propozycje.

ROZWIĄZANIE #4

Korzystanie z napędów dla każdego stawu w dłoni



Na zdjęciu powyżej możemy zobaczyć przykład takowej humanoidalnej dłoni współtworzonej przez firmę DARPA. Korzysta ona z najnowocześniejszych systemów sensorycznych oraz jej bazowa zasadadziałania nie opiera się na cięgnach, lecz każdy człon dłoni jest sterowany niezależnie.

ROZWIĄZANIE #5

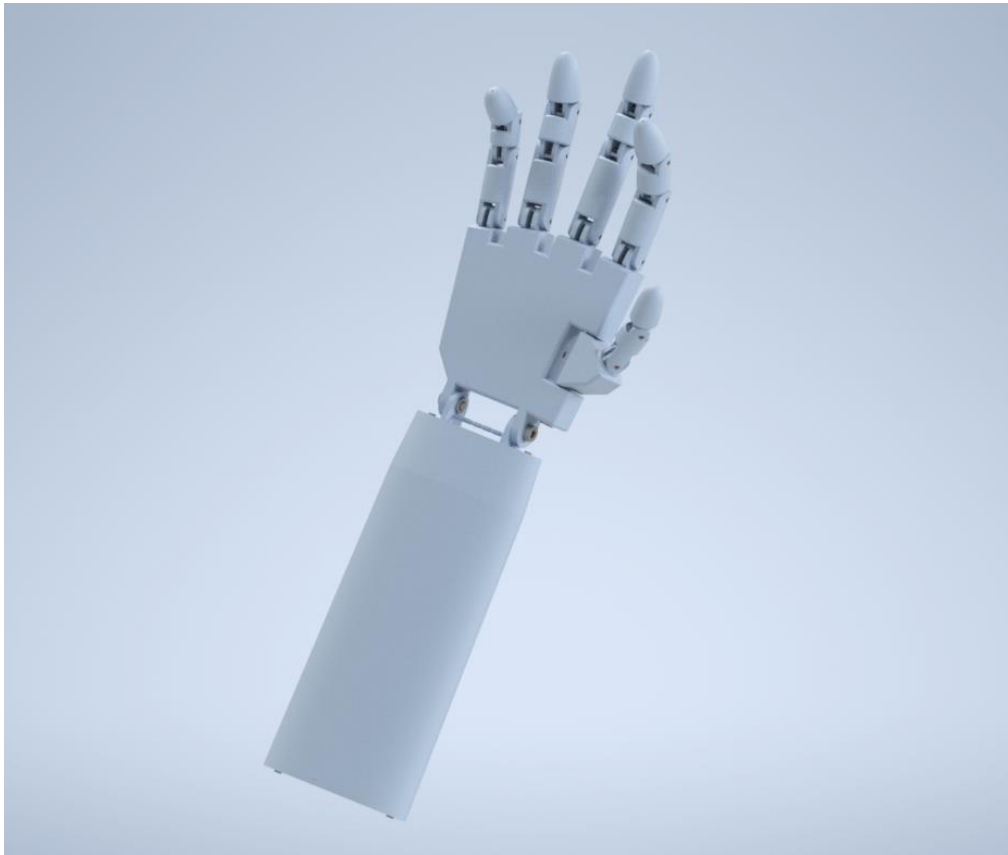
Naśladowanie działania ludzkich mięśni za pomocą hydrauliki



System hydraulicznych węzów świetnie symuluje napinanie ludzkich mięśni co pozwoliło na stworzenie humanoidalnej dłoni na bazie hydrauliki. Dłoń ta potrafi podnieść niewielkie ciężary (do 7 kg) oraz pozwala na precyzyjne sterowanie poszczególnymi palcami.

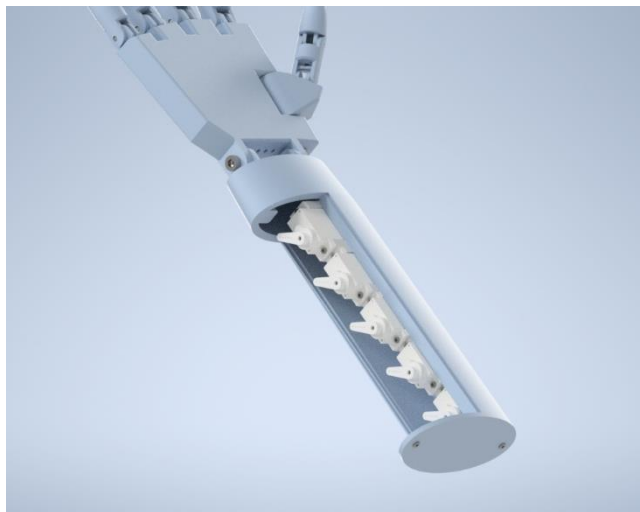
Model na powyższych zdjęciach został stworzony przez drużynę polskich inżynierów z firmy Automaton Robotics.

3. Wizualizacja i zasada działania

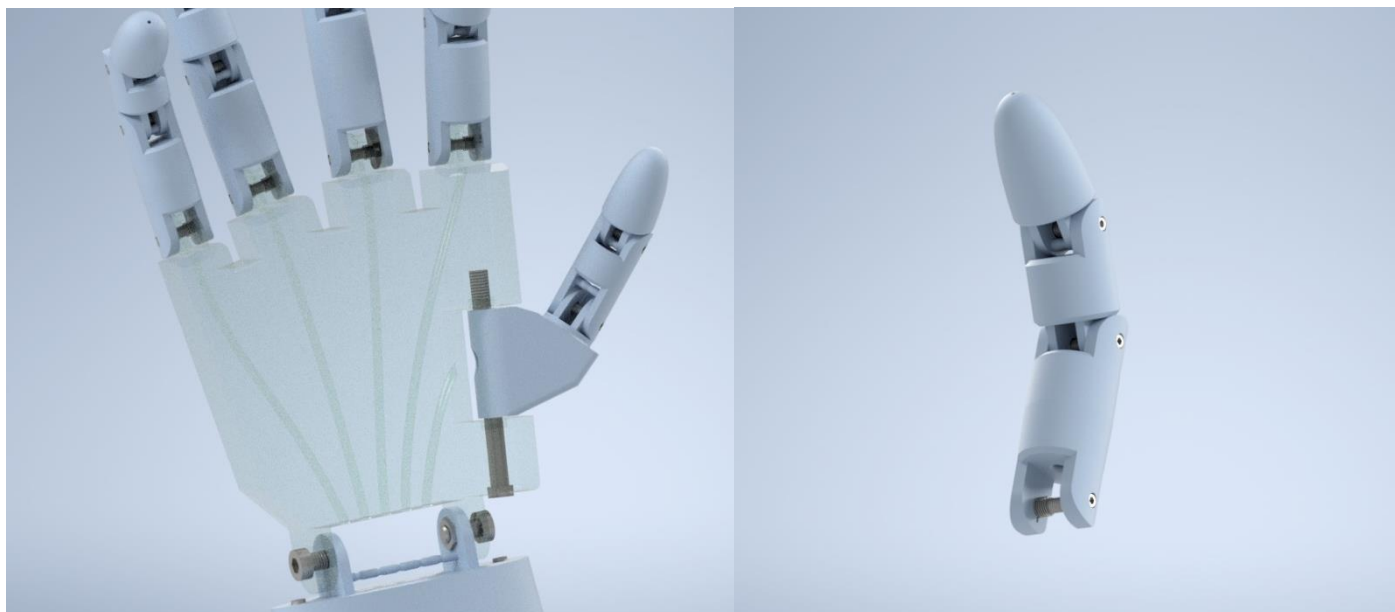


Render całościowy robota

Działanie robota umożliwia 5 napędów typu Servo umieszczonych w 'przedramieniu' robota w specjalnie zaprojektowanych miejscach, aby końcówki poszczególnych serwonapędów kaskadowały coraz niżej. Dzięki temu rozwiązaniu można bez przeszkód przeciągnąć z każdego napędu żyłkę poprzez nadgarstek aż po końcówki palców. Użytych zostało 5 napędów aby każdy palec mógł być niezależnie sterowany.



Obrót serwonapędu o 90° pozwala na pociągnięcie linki oraz tym samym całkowite zgięcie się palca



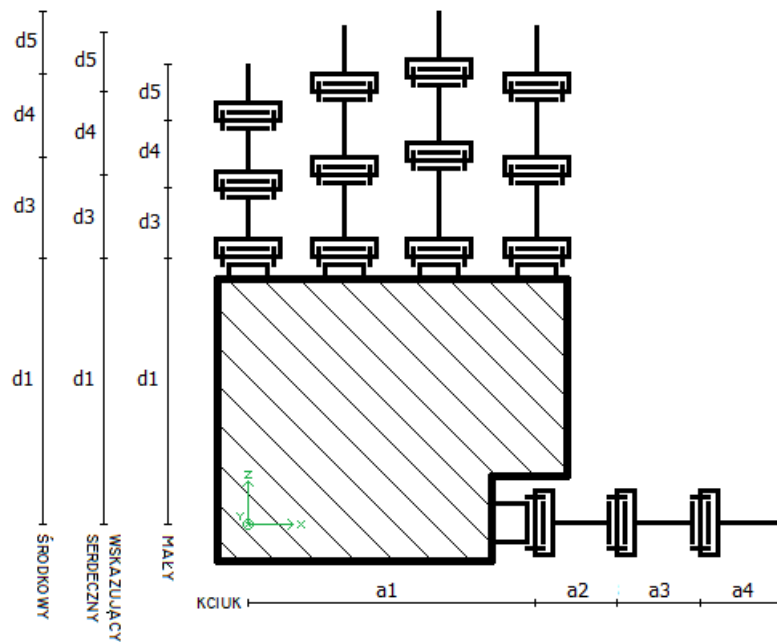
W celu łatwiejszego użycia żyłki oraz wydłużenia jej żywotności zostały umieszczone w dłoni tunele do każdego z palców oraz ponadto na każdym ze 'stawów' są użyte zaokrąglone wałki centrujące. Wałki te zmniejszają kontakt linki z ostrymi krawędziami, tym samym wydłużając żywotność żyłki.

Powyższy render przedstawia także sposób montażu kciuka, który różni się od innych palców zarówno budową jak i płaszczyzną działania. Jest on zamocowany za pomocą śruby z krótkim gwintem na samym końcu, która równocześnie pełni funkcję przegubu obrotowego dla pierwszego członu kciuka.



Cofanie się palców do pozycji początkowej jest realizowane za pomocą sprężyn skrętnych zamontowanych w każdym ze stawów wokół śruby pełniącej funkcję przegubu obrotowego. Jeśli zmniejszymy napięcie linki poprzez cofnięcie się serwonapędu, sprężyna spróbuje powrócić do swojej postaci przed zgięciem palca, dzięki czemu wyprostuje ona palec robota.

4. Model kinematyczny robota



Dla uproszczenia obliczeń kinematyki prostej i odwrotnej użyte zostały zaokrąglone odległości.

Wymiary używane w obliczeniach kinematyki:

Kciuk:	a1 = 3;	a2 = 1;	a3 = 1;	a4 = 1;
Wskazujący:	d1 = 3;	d2 = 1;	d3 = 1;	d4 = 1;
Środkowy:	d1 = 3;	d2 = 1;	d3 = 1;	d4 = 1; a1 = 1;
Serdeczny:	d1 = 3;	d2 = 1;	d3 = 1;	d4 = 1; a1 = 2;
Mały:	d1 = 3;	d2 = 1;	d3 = 1;	d4 = 1; a1 = 3;

5. Obliczenia ruchliwości

$$w = 6 \times n - \sum_{i=1}^5 i \times p_i$$

$$w = 6 \times 2 - 5 \times 2 = 2$$

Jest to ruchliwość dla pojedynczego palca

6. Kinematyka prosta

- Dla kciuka

SYSTEM	Θ_i	d_i	a_i	α_i
1	0	0	a_1	0
2	Θ_{2var}	0	a_2	0
3	Θ_{3var}	0	a_3	0
4	Θ_{4var}	0	a_4	0

Macierz kinematyki prostej:

$$\begin{bmatrix}
 \cos(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3)) - \sin(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) + \cos(\theta_3) \cdot \sin(\theta_2)) & -\cos(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) + \cos(\theta_3) \cdot \sin(\theta_2)) - \sin(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3)) & 0 & a_1 + a_2 \cdot \cos(\theta_2) + a_4 \cdot \cos(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3)) - a_4 \cdot \sin(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) + \cos(\theta_3) \cdot \sin(\theta_2)) + a_3 \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - a_3 \cdot \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) \\
 \cos(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) + \cos(\theta_3) \cdot \sin(\theta_2)) + \sin(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3)) & \cos(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3)) - \sin(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) + \cos(\theta_3) \cdot \sin(\theta_2)) & 0 & a_2 \cdot \sin(\theta_2) + a_4 \cdot \cos(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) + \cos(\theta_3) \cdot \sin(\theta_2)) + \sin(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) - \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3)) + a_3 \cdot \cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) - a_3 \cdot \cos(\theta_3) \cdot \sin(\theta_2) \\
 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1
 \end{bmatrix}$$

Przykładowe rozwiązanie:

Dane: $\Theta_{2var} = 0$;
 $\Theta_{3var} = 0$;
 $\Theta_{4var} = \pi/2$;

Przewidywana pozycja:
 $[5, 1, 0]$

Macierz kinematyki po podstawieniu:

$$\begin{bmatrix}
 T_K = \\
 0.0000 & -1.0000 & 0 & 5.0000 \\
 1.0000 & 0.0000 & 0 & 1.0000 \\
 0 & 0 & 1.0000 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1.0000
 \end{bmatrix}$$

- Dla palca środkowego

SYSTEM	Θ_i	d_i	a_i	α_i
1	0	d_1	a_1	0
2	0	0	0	α_{2var}
3	0	d_3	0	α_{3var}
4	0	d_4	0	α_{4var}
5	0	d_5	0	0

Macierz kinematyki prostej:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) & \sin(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - \cos(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) & -d_4 * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) - \sin(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3))) - d_3 * \sin(\alpha_2) \\ 0 & \cos(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) * \sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) * \sin(\alpha_2) & -\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) * \cos(\alpha_2) + \cos(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) * \cos(\alpha_2) & d_1 - d_4 * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) + \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2))) + d_3 * \cos(\alpha_2) \\ 0 & \sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) & \cos(\alpha_3) - \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) & 1 \end{bmatrix}$$

Przykładowe rozwiązanie:

Dane: $\alpha_{2var} = \pi/2$;
 $\alpha_{3var} = \pi/2$;
 $\alpha_{4var} = 0$;

Przewidywana pozycja:
 $[1, -1, 1]$

Macierz kinematyki po podstawieniu:

$$T_SSM = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0 & 0 & 1.0000 \\ 0 & -1.0000 & -0.0000 & -1.0000 \\ 0 & 0.0000 & -1.0000 & 1.0000 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

- Dla palca serdecznego

SYSTEM	Θ_i	d_i	a_i	α_i
1	0	d_1	a_1	0
2	0	0	0	α_{2var}
3	0	d_3	0	α_{3var}
4	0	d_4	0	α_{4var}
5	0	d_5	0	0

Macierz kinematyki prostej:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\cos(\alpha_4) + (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) \\ \cos(\alpha_4) + (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) - \sin(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) \\ \sin(\alpha_4) + (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) \\ \sin(\alpha_4) - \cos(\alpha_4) * \cos(\alpha_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin(\alpha_4) + (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) * d_4 + (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) * d_5 \\ \cos(\alpha_4) + (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2)) * d_5 + (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) * d_1 - d_4 * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) + \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2))) + d_3 * \cos(\alpha_2) \\ \sin(\alpha_4) + (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) * d_1 - d_4 * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) + \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2))) + d_3 * \cos(\alpha_2) \\ \sin(\alpha_4) - \cos(\alpha_4) * \cos(\alpha_3) * d_1 - d_4 * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) + \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2))) + d_3 * \cos(\alpha_2) \end{bmatrix}$$

Przykładowe rozwiązanie:

Dane: $\alpha_{2var} = 0$;
 $\alpha_{3var} = \pi/2$;
 $\alpha_{4var} = 0$;

Przewidywana pozycja:
[2,-2,4]

Macierz kinematyki po podstawieniu:

$$T_{SSM} =$$

1.0000	0	0	2.0000
0	0.0000	-1.0000	-2.0000
0	1.0000	0.0000	4.0000
0	0	0	1.0000

- Dla palca małego

SYSTEM	Θ_i	d_i	a_i	α_i
1	0	d_1	a_1	0
2	0	0	0	α_{2var}
3	0	d_3	0	α_{3var}
4	0	d_4	0	α_{4var}
5	0	d_5	0	0

Macierz kinematyki prostej:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) & \sin(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) & -d_4 * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - \sin(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3))) - d_3 * \sin(\alpha_2) & -d_1 - d_4 * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) + \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3))) + d_3 * \cos(\alpha_2) \\ 0 & \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2) & \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2) & \sin(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_3 * \sin(\alpha_2) & d_1 - d_4 * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) + \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3))) + d_3 * \cos(\alpha_2) \\ 0 & \cos(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) * \sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) * \sin(\alpha_2) & -\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) * \sin(\alpha_2) & d_1 - d_4 * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) + \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3))) + d_3 * \cos(\alpha_2) \\ 0 & \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3) & \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_3) * \sin(\alpha_2) & \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_3 * \sin(\alpha_2) & d_1 - d_4 * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) - d_5 * (\cos(\alpha_4) * (\sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) - \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3)) + \sin(\alpha_4) * (\cos(\alpha_2) * \sin(\alpha_3) + \cos(\alpha_2) * \cos(\alpha_3))) + d_3 * \cos(\alpha_2) \end{bmatrix}$$

Przykładowe rozwiązanie:

Dane: $\alpha_{2var} = \pi/2$;
 $\alpha_{3var} = 0$;
 $\alpha_{4var} = 0$;

Przewidywana pozycja:
[3,-3,3]

Macierz kinematyki po podstawieniu:

$T_{SSM} =$

$$\begin{bmatrix} 1.0000 & 0 & 0 & 3.0000 \\ 0 & 0.0000 & -1.0000 & -3.0000 \\ 0 & 1.0000 & 0.0000 & 3.0000 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

7. Kinematyka odwrotna

*W kodzie z Matlaba zostały zastosowane warunki brzegowe, aby pozbyć się skomplikowanych wyników oraz aby wyniki nie wychodziły poza rzeczywisty zakres obrotu poszczególnych stawów.
(Kąt obrotu: $\langle \pi/2, 0 \rangle$)*

- Dla kciuka

Dane: $a_1 = 2[\text{cm}]$, $a_2 = 1,5[\text{cm}]$, $a_3 = 1[\text{cm}]$, $a_4 = 1[\text{cm}]$,

Współrzędne końcowe: $[0,0,0]$

Rozwiązanie kinematyki:

```
soltheta2 =
```

```
0
```

```
soltheta3 =
```

```
0
```

```
soltheta4 =
```

```
pi/2
```

- Dla palca wskazującego

Dane: $d_1 = 3[\text{cm}]$, $d_3 = 1[\text{cm}]$, $d_4 = 1[\text{cm}]$, $d_5 = 1[\text{cm}]$,

Współrzędne końcowe: $[0,0,6]$

Rozwiązanie kinematyki:

```
solalfa2 =
```

```
0
```

```
solalfa3 =
```

```
0
```

```
solalfa4 =
```

```
0
```

- Dla palca środkowego

Dane: $d_1 = 3[\text{cm}]$, $d_3 = 1[\text{cm}]$, $d_4 = 1[\text{cm}]$, $d_5 = 1[\text{cm}]$, $a_1 = 1[\text{cm}]$,

Współrzędne końcowe: $[1,-1,1]$

Rozwiązanie kinematyki:

```
solalfa2 =
```

```
pi/2
```

```
solalfa3 =
```

```
pi/2
```

```
solalfa4 =
```

```
0
```


- Dla palca serdecznego

Dane: $d_1 = 3[\text{cm}]$, $d_3 = 1[\text{cm}]$, $d_4 = 1[\text{cm}]$, $d_5 = 1[\text{cm}]$, $a_1 = 2[\text{cm}]$,

Współrzędne końcowe: $[2, -2, 4]$

Rozwiązanie kinematyki:

```
solalfa2 =
0

solalfa3 =
pi/2

solalfa4 =
0
```

- Dla palca małego

Dane: $d_1 = 3[\text{cm}]$, $d_3 = 1[\text{cm}]$, $d_4 = 1[\text{cm}]$, $d_5 = 1[\text{cm}]$, $a_1 = 3[\text{cm}]$,

Współrzędne końcowe: $[3, -3, 3]$

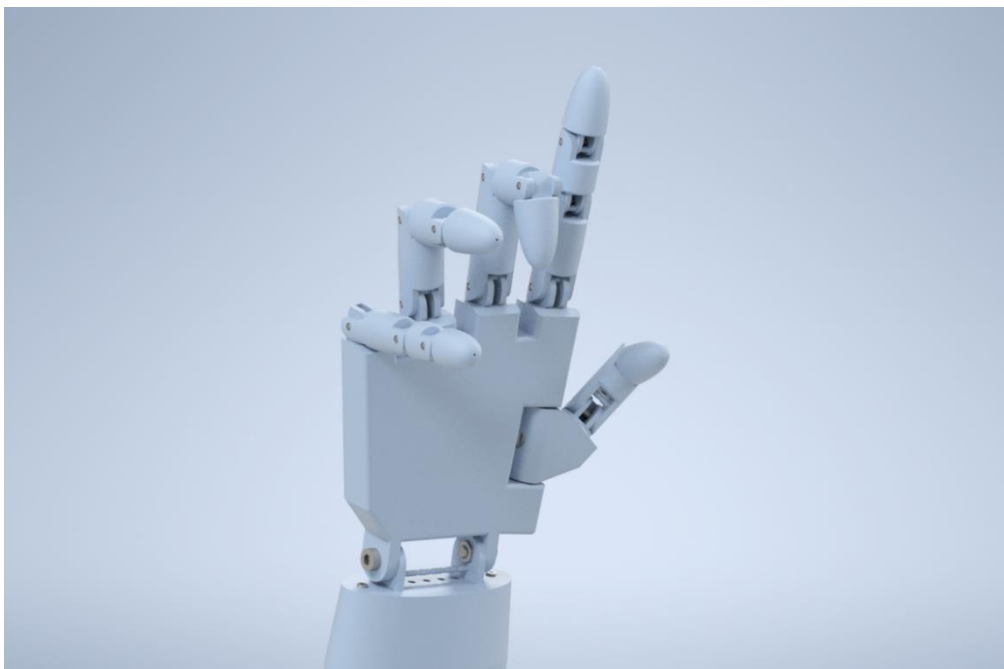
Rozwiązanie kinematyki:

```
solalfa2 =
pi/2

solalfa3 =
0

solalfa4 =
0
```

- Ostateczna konfiguracja dłoni robota – wizualizacja



8. Kod z Matlabu do obliczenia kinematyki

- Kinematyka prosta

```
=====

clc
clear all
close all

%ZMIENNE
alfa2 = sym('alfa2');
alfa3 = sym('alfa3');
alfa4 = sym('alfa4');
theta2 = sym('theta2');
theta3 = sym('theta3');
theta4 = sym('theta4');

%STATE
d1 = sym('d1');
d3 = sym('d3');
d4 = sym('d4');
d5 = sym('d5');

a1 = sym('a1');
a2 = sym('a2');
a3 = sym('a3');
a4 = sym('a4');

%% DLA PALCA WSKAZUJĄCEGO
%=====
TZ1 = [ 1 0 0 0
        0 1 0 0
        0 0 1 d1
        0 0 0 1];
A1 = TZ1;

%=====
RX2 = [1 0 0 0
        0 cos(alfa2) -sin(alfa2) 0
        0 sin(alfa2) cos(alfa2) 0
        0 0 0 1];

A2 = RX2;

%=====
TZ3 = [ 1 0 0 0
        0 1 0 0
        0 0 1 d3
        0 0 0 1];

RX3 = [1 0 0 0
        0 cos(alfa3) -sin(alfa3) 0
        0 sin(alfa3) cos(alfa3) 0
        0 0 0 1];

A3 = TZ3*RX3;
%=====
TZ4 = [ 1 0 0 0
        0 1 0 0
        0 0 1 d4
        0 0 0 1];

RX4 = [1 0 0 0
        0 cos(alfa4) -sin(alfa4) 0
        0 sin(alfa4) cos(alfa4) 0
        0 0 0 1];

A4 = TZ4*RX4;

%=====
TZ5 = [ 1 0 0 0
        0 1 0 0
        0 0 1 d5
        0 0 0 1];
A5 = TZ5;

%=====
T_W = A1*A2*A3*A4*A5

%% DLA PALCA ŚRODKOWEGO, SERDECZNEGO,
MAŁEGO
%=====
TZ6 = [ 1 0 0 0
        0 1 0 0
        0 0 1 d1
        0 0 0 1];

TX6 = [ 1 0 0 a1
        0 1 0 0
        0 0 1 0
        0 0 0 1];

A6 = TZ6*TX6;

%=====
RX7 = [1 0 0 0
        0 cos(alfa2) -sin(alfa2) 0
        0 sin(alfa2) cos(alfa2) 0
        0 0 0 1];

A7 = RX7;

%=====
TZ8 = [ 1 0 0 0
        0 1 0 0
        0 0 1 d3
        0 0 0 1];

RX8 = [1 0 0 0
        0 cos(alfa3) -sin(alfa3) 0
        0 sin(alfa3) cos(alfa3) 0
        0 0 0 1];

A8 = TZ8*RX8;
%=====
TZ9 = [ 1 0 0 0
        0 1 0 0
        0 0 1 d4
        0 0 0 1];

RX9 = [1 0 0 0
        0 cos(alfa4) -sin(alfa4) 0
        0 sin(alfa4) cos(alfa4) 0
        0 0 0 1];

A9 = TZ9*RX9;

%=====
TZ10 = [ 1 0 0 0
        0 1 0 0
        0 0 1 d5
        0 0 0 1];
A10 = TZ10;

%=====
T_SSM = A6*A7*A8*A9*A10

%% DLA KCIUKA
%=====
TX11 = [ 1 0 0 a1
        0 1 0 0
        0 0 1 0
        0 0 0 1];

A11 = TX11;

%=====
TX12 = [ 1 0 0 a2
        0 1 0 0
        0 0 1 0
        0 0 0 1];

RZ12 = [ cos(theta2) -sin(theta2) 0 0
        sin(theta2) cos(theta2) 0 0
        0 0 1 0
        0 0 0 1];

A12 = RZ12*TX12;

%=====
TX13 = [ 1 0 0 a3
        0 1 0 0
        0 0 1 0
        0 0 0 1];

RZ13 = [ cos(theta3) -sin(theta3) 0 0
        sin(theta3) cos(theta3) 0 0
        0 0 1 0
        0 0 0 1];

A13 = RZ13*TX13;

%=====
TX14 = [ 1 0 0 a4
        0 1 0 0
        0 0 1 0
        0 0 0 1];

RZ14 = [ cos(theta4) -sin(theta4) 0 0
        sin(theta4) cos(theta4) 0 0
        0 0 1 0
        0 0 0 1];

A14 = RZ14*TX14;

%=====
T_K = A11*A12*A13*A14
```

- Kinematyka prosta – sprawdzenie wyników

```
=====

clear all
close all
clc

%% DANE
a1 = 3;
% a2 = 1;
% a3 = 1;
% a4 = 1;
d1 = 3;
d3 = 1;
d4 = 1;
d5 = 1;

%% SZUKANE
alfa2 = pi/2;
alfa3 = 0;
alfa4 = 0;

% theta2 = 0;
% theta3 = 0;
% theta4 = pi/2;

%% MACIERZ KCIUKA
% T_K = [cos(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) - sin(theta2)*sin(theta3)) - sin(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) + cos(theta3)*sin(theta2)),
- cos(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) + cos(theta3)*sin(theta2)) - sin(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) - sin(theta2)*sin(theta3)), 0, a1 +
a2*cos(theta2) + a4*cos(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) - sin(theta2)*sin(theta3)) - a4*sin(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) +
cos(theta3)*sin(theta2)) + a3*cos(theta2)*cos(theta3) - a3*sin(theta2)*sin(theta3)
% cos(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) + cos(theta3)*sin(theta2)) + sin(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) - sin(theta2)*sin(theta3)),
cos(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) - sin(theta2)*sin(theta3)) - sin(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) + cos(theta3)*sin(theta2)), 0,
a2*sin(theta2) + a4*cos(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) + cos(theta3)*sin(theta2)) + a4*sin(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) -
sin(theta2)*sin(theta3)) + a3*cos(theta2)*sin(theta3) + a3*cos(theta3)*sin(theta2)
%
0,
0, 1,
0
%
0,
0,
1]

%% MACIERZ PALCA WSKAZUJĄCEGO
% T_W = [1,
0,
0,
0, - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)),
sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)), -
d4*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - d5*(cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) -
sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3))) - d3*sin(alfa2)
% 0, cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)), -
cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)), d1 -
d4*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - d5*(cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) +
sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2))) + d3*cos(alfa2)
% 0,
0,
1]

%% MACIERZ PALCA ŚRODKOWEGO, SERDECZNEGO, MAŁEGO
% T_SSM = [1,
0,
0,
a1
0, - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)),
sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)), -
d4*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - d5*(cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) -
sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3))) - d3*sin(alfa2)
0, cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)), -
cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)), d1 -
d4*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - d5*(cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) +
sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2))) + d3*cos(alfa2)
0,
0,
1]

=====
```

- Kinematyka odwrotna kciuka

```
=====

%% Kinematyka odwrotna dla kciuka
clear all
close all
clc

%% STAŁE
a1 = 3;
a2 = 1;
a3 = 1;
a4 = 1;

%% SZUKANE
% theta1 = sym('theta1');
% theta2 = sym('theta2');
% theta3 = sym('theta3');

%% WSPÓŁRZĘDNE PUNKTU
x = 5;
y = 1;
z = 0;

syms theta2 theta3 theta4
T_K = [cos(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) - sin(theta2)*sin(theta3)) - sin(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) +
cos(theta3)*sin(theta2)), - cos(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) + cos(theta3)*sin(theta2)) -
sin(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) - sin(theta2)*sin(theta3)), 0, a1 + a2*cos(theta2) +
a4*cos(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) - sin(theta2)*sin(theta3)) - a4*sin(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) +
cos(theta3)*sin(theta2)) + a3*cos(theta2)*cos(theta3) - a3*sin(theta2)*sin(theta3)
cos(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) + cos(theta3)*sin(theta2)) + sin(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) -
sin(theta2)*sin(theta3)), cos(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) - sin(theta2)*sin(theta3)) -
sin(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) + cos(theta3)*sin(theta2)), 0, a2*sin(theta2) +
a4*cos(theta4)*(cos(theta2)*sin(theta3) + cos(theta3)*sin(theta2)) + a4*sin(theta4)*(cos(theta2)*cos(theta3) -
sin(theta2)*sin(theta3)) + a3*cos(theta2)*sin(theta3) + a3*cos(theta3)*sin(theta2)

0,
0, 1,
0

0,
0, 0,
1];
eqn1 = T_K(1,4) == x;
eqn2 = T_K(2,4) == y;
eqn3 = T_K(3,4) == z;
eqn4 = (pi/2 >= theta2) & (theta2 >= 0);
eqn5 = (pi/2 >= theta3) & (theta3 >= 0);
eqn6 = (pi/2 >= theta4) & (theta4 >= 0);
eqns = [eqn1 eqn2 eqn3 eqn4 eqn5 eqn6];

vars = [theta2 theta3 theta4];
[soltheta2, soltheta3, soltheta4] = solve(eqns,vars)

=====
```

- Kinematyka odwrotna wskazującego

```
=====

%% Kinematyka odwrotna dla kciuka
clear all
close all
clc

%% STAŁE
d1 = 3;
d3 = 1;
d4 = 1;
d5 = 1;
a1 = 1;

%% SZUKANE
%alfa2 = sym('alfa2');
%alfa3 = sym('alfa3');
%alfa4 = sym('alfa4');

%% WSPÓŁRZĘDNE PUNKTU
x = 0;
y = 0;
z = 6;

syms alfa2 alfa3 alfa4
T_W = [1,
0,
0,
0,
0, - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) +
cos(alfa3)*sin(alfa2)), sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3)
+ cos(alfa3)*sin(alfa2)), - d4*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) -
d5*(cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) -
cos(alfa2)*cos(alfa3))) - d3*sin(alfa2)
0, cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) -
cos(alfa2)*cos(alfa3)), - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3)
+ cos(alfa3)*sin(alfa2)), d1 - d4*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) -
d5*(cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) + sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) +
cos(alfa3)*sin(alfa2))) + d3*cos(alfa2)
0,
0,
0,
1];

eqn1 = T_W(1,4) == x;
eqn2 = T_W(2,4) == y;
eqn3 = T_W(3,4) == z;
eqn4 = (pi/2 >= alfa2) & (alfa2 >= 0);
eqn5 = (pi/2 >= alfa3) & (alfa3 >= 0);
eqn6 = (pi/2 >= alfa4) & (alfa4 >= 0);
eqns = [eqn1 eqn2 eqn3 eqn4 eqn5 eqn6];

vars = [alfa2 alfa3 alfa4];
[solalfa2, solalfa3, solalfa4] = solve(eqns,vars)

=====
```

- Kinematyka odwrotna środkowego

```
=====

%% Kinematyka odwrotna dla środkowego
clear all
close all
clc

%% STAŁE
d1 = 3;
d3 = 1;
d4 = 1;
d5 = 1;
a1 = 1;

%% SZUKANE
%alfa2 = sym('alfa2');
%alfa3 = sym('alfa3');
%alfa4 = sym('alfa4');

%% WSPÓŁRZĘDNE PUNKTU
x = 1;
y = -1;
z = 1;

%% MACIERZ KINEMATYKI PROSTEJ
syms alfa2 alfa3 alfa4
T_SSM = [1,
0,
0,
a1
0, - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) +
cos(alfa3)*sin(alfa2)), sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3)
+ cos(alfa3)*sin(alfa2)), - d4*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) -
d5*(cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) -
cos(alfa2)*cos(alfa3))) - d3*sin(alfa2)
0, cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) -
cos(alfa2)*cos(alfa3)), - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3)
+ cos(alfa3)*sin(alfa2)), d1 - d4*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) -
d5*(cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) + sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) +
cos(alfa3)*sin(alfa2))) + d3*cos(alfa2)
0,
0,
0,
1];

eqn1 = T_SSM(1,4) == x;
eqn2 = T_SSM(2,4) == y;
eqn3 = T_SSM(3,4) == z;
eqn4 = (pi/2 >= alfa2) & (alfa2 >= 0);
eqn5 = (pi/2 >= alfa3) & (alfa3 >= 0);
eqn6 = (pi/2 >= alfa4) & (alfa4 >= 0);
eqns = [eqn1 eqn2 eqn3 eqn4 eqn5 eqn6];

vars = [alfa2 alfa3 alfa4];
[solalfa2, solalfa3, solalfa4] = solve(eqns,vars)

=====
```

- Kinematyka odwrotna serdecznego

```
=====

%% Kinematyka odwrotna dla serdecznego
clear all
close all
clc

%% STAŁE
d1 = 3;
d3 = 1;
d4 = 1;
d5 = 1;
a1 = 2;

%% SZUKANE
%alfa2 = sym('alfa2');
%alfa3 = sym('alfa3');
%alfa4 = sym('alfa4');

%% WSPÓŁRZĘDNE PUNKTU
x = 2;
y = -2;
z = 4;

%% MACIERZ KINEMATYKI PROSTEJ
syms alfa2 alfa3 alfa4
T_SSM = [1,
0,
0,
a1
0, - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) +
cos(alfa3)*sin(alfa2)), sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3)
+ cos(alfa3)*sin(alfa2)), - d4*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) -
d5*(cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) -
cos(alfa2)*cos(alfa3))) - d3*sin(alfa2)
0, cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) -
cos(alfa2)*cos(alfa3)), - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3)
+ cos(alfa3)*sin(alfa2)), d1 - d4*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) -
d5*(cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) + sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) +
cos(alfa3)*sin(alfa2))) + d3*cos(alfa2)
0,
0,
0,
1];

eqn1 = T_SSM(1,4) == x;
eqn2 = T_SSM(2,4) == y;
eqn3 = T_SSM(3,4) == z;
eqn4 = (pi/2 >= alfa2) & (alfa2 >= 0);
eqn5 = (pi/2 >= alfa3) & (alfa3 >= 0);
eqn6 = (pi/2 >= alfa4) & (alfa4 >= 0);
eqns = [eqn1 eqn2 eqn3 eqn4 eqn5 eqn6];

vars = [alfa2 alfa3 alfa4];
[solalfa2, solalfa3, solalfa4] = solve(eqns,vars)

=====
```


- Kinematyka odwrotna małego

```
=====

%% Kinematyka odwrotna dla małego
clear all
close all
clc

%% STAŁE
d1 = 3;
d3 = 1;
d4 = 1;
d5 = 1;
a1 = 3;

%% SZUKANE
%alfa2 = sym('alfa2');
%alfa3 = sym('alfa3');
%alfa4 = sym('alfa4');

%% WSPÓŁRZĘDNE PUNKTU
x = 3;
y = -3;
z = 3;

%% MACIERZ KINEMATYKI PROSTEJ
syms alfa2 alfa3 alfa4
T_SSM = [1,
0,
0,
a1
0, - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) +
cos(alfa3)*sin(alfa2)), sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3)
+ cos(alfa3)*sin(alfa2)), - d4*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) -
d5*(cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) -
cos(alfa2)*cos(alfa3))) - d3*sin(alfa2)
0, cos(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) + cos(alfa3)*sin(alfa2)) - sin(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) -
cos(alfa2)*cos(alfa3)), - cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) - sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3)
+ cos(alfa3)*sin(alfa2)), d1 - d4*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) -
d5*(cos(alfa4)*(sin(alfa2)*sin(alfa3) - cos(alfa2)*cos(alfa3)) + sin(alfa4)*(cos(alfa2)*sin(alfa3) +
cos(alfa3)*sin(alfa2))) + d3*cos(alfa2)
0,
0,
0,
1];

eqn1 = T_SSM(1,4) == x;
eqn2 = T_SSM(2,4) == y;
eqn3 = T_SSM(3,4) == z;
eqn4 = (pi/2 >= alfa2) & (alfa2 >= 0);
eqn5 = (pi/2 >= alfa3) & (alfa3 >= 0);
eqn6 = (pi/2 >= alfa4) & (alfa4 >= 0);
eqns = [eqn1 eqn2 eqn3 eqn4 eqn5 eqn6];

vars = [alfa2 alfa3 alfa4];
[solalfa2, solalfa3, solalfa4] = solve(eqns,vars)

=====
```

9. Rysunek złożeniowy i 3 rysunki wykonawcze

