

# **Głębokie uczenie i inteligencja obliczeniowa**

## **Automatyka i Robotyka II stopień**

### **2020/2021**

**Temat:** Zastosowanie algorytmu PSO do optymalizacji nastaw regulatora PID, do sterowania kursem statku.

Skład zespołu:

*Żuber Norbert*

*Kłosiński Jakub*

*Wiecheć Konrad*

*Matsveyeva Alena*

Opiekun: dr hab. inż. Joanna Kwiecień

# 1. Wstęp

## 1.1 Cel projektu

Celem projektu jest dobór parametrów regulatora PID zoptymalizowanych za pomocą algorytmu rojem cząstek, w celu sterowania kursem statku morskiego.

## 1.2 Założenia projektu

Projekt zakłada:

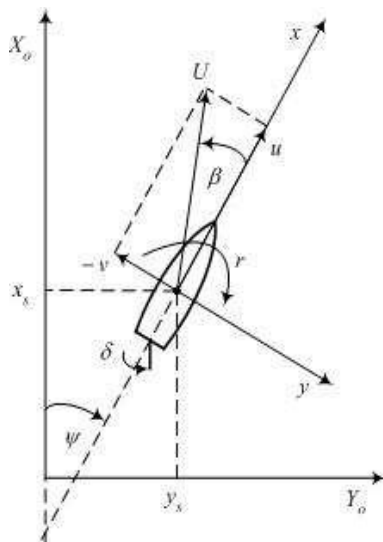
- zrealizowanie opisu zagadnienia,
- zbudowanie modelu statku przy użyciu pakietu Matlab – Simulink,
- napisanie algorytmu PSO do doboru nastaw,
- wizualizacja procesu.

# 2. Badany problem

W dzisiejszych czasach do sterowania kursem statku wykorzystuje się regulator PID. Regulatory te są trudne do ręcznego strojenia, gdyż występuje w nich duża liczba możliwych kombinacji nastaw, i brak wyraźnej zależności pomiędzy ich wartościami, a wymaganiami operacyjnymi lub zmianami środowiskowymi.

## 2.1 Model matematyczny dynamiki statku

Problem sterowania ruchem statku definiowany jest w układzie współrzędnych nieruchomych  $X$  i  $Y$ , natomiast ruch statku opisywany jest przez współrzędne układu powiązanego ze statkiem (Rysunek 1). Układ regulacji dotyczy sterowania statkiem na kursie, w którym



Rysunek 1: Zmienne wykorzystywane do opisu ruchu statku w płaszczyźnie

wielkością regulowaną jest kurs statku  $\psi$ , natomiast sterującą odpowiednie wychylenie płetwy sterowej  $\delta$ .

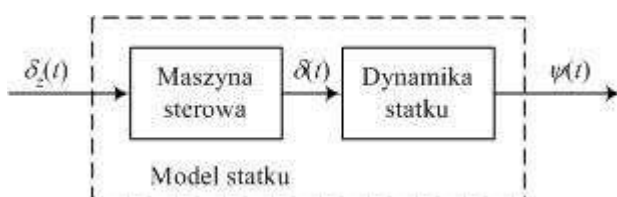
Gdzie  $\psi$  – kurs statku,  $\delta$  – wychylenie płetwy sterowej,  $(x_s, y_s)$  – współrzędne położenia,  $(u, v)$  – prędkości liniowe,  $r$  – prędkość kątowna,  $\beta$  – dryft statku.

Strojenie parametrów regulatora PID przeprowadzono dla układu regulacji o wejściu będącym wychyleniem płetwy sterowej  $\delta$  i wyjściu będącym kursem statku  $\psi$ .

Do opisu dynamiki kadłuba statku zastosowany został model matematyczny Becha i Wagnera-Smitha:

$$T_1 T_2 \ddot{\psi} + (T_1 + T_2) \dot{\psi} + K H_B(\dot{\psi}) = K (T_3 \dot{\delta} + \delta)$$

Prosty model matematyczny statku przedstawia Rysunek 2.



Rysunek 2: Model matematyczny statku

Funkcja nieliniowa  $H_B(\dot{\psi})$  jest krzywą spirali odwzorowującą w stanie ustalonym, zależność pomiędzy wartością wychylenia płetwy sterowej i prędkością kątowną, opisana jest wzorem:

$$H_B(\dot{\psi}) = b_3 \dot{\psi}^3 + b_2 \dot{\psi}^2 + b_1 \dot{\psi} + b_0$$

Wartości poszczególnych parametrów:

- $K = 0.061$ ,
- $T_1 = 83.5$ ,
- $T_2 = 966.3$ ,
- $T_3 = 543$ ,
- $b_0 = -3.43$ ,
- $b_1 = -7.32$ ,
- $b_2 = 2.87$ ,
- $b_3 = 9.77$ .

## 2.2 Opis algorytmu PSO

Optymalizacja za pomocą roju cząstek (ang. Particle Swarm Optimization) mający na celu przeszukiwanie przestrzeni rozwiązań problemu przy pomocy roju cząstek. Każda z cząstek posiada swoją pozycję w przestrzeni rozwiązań, prędkość oraz kierunek w jakim się porusza. Ponadto zapamiętywane jest najlepsze rozwiązanie znalezione do tej pory przez każdą z cząstek (rozwiązanie lokalne), a także najlepsze rozwiązanie z całego roju (rozwiązanie globalne). Prędkość ruchu poszczególnych cząstek zależy od położenia najlepszego globalnego i lokalnego rozwiązania

oraz od prędkości w poprzednich krokach. Poniżej przedstawiony jest wzór pozwalający na obliczenie prędkości danej cząstki.

$$v \leftarrow \omega v + \phi_l r_l (l - x) + \phi_g r_g (g - x)$$

Gdzie:

- $v$  – prędkość cząstki,
- $\Omega$  – współczynnik bezwładności określa wpływ prędkości w poprzednim korku,
- $\phi$  – współczynnik dążenia do najlepszego rozwiązania,
- $\phi_g$  – współczynnik dążenia do najlepszego globalnego rozwiązania,
- $l$  – położenie najlepszego lokalnego rozwiązania,
- $g$  – położenie najlepszego globalnego rozwiązania,
- $x$  – położenie cząstki,
- $r_l, r_g$  – losowe wartości z przedziału  $<0,1>$ .

Schemat działania algorytmu:

Dla każdej cząstki ze zbioru:

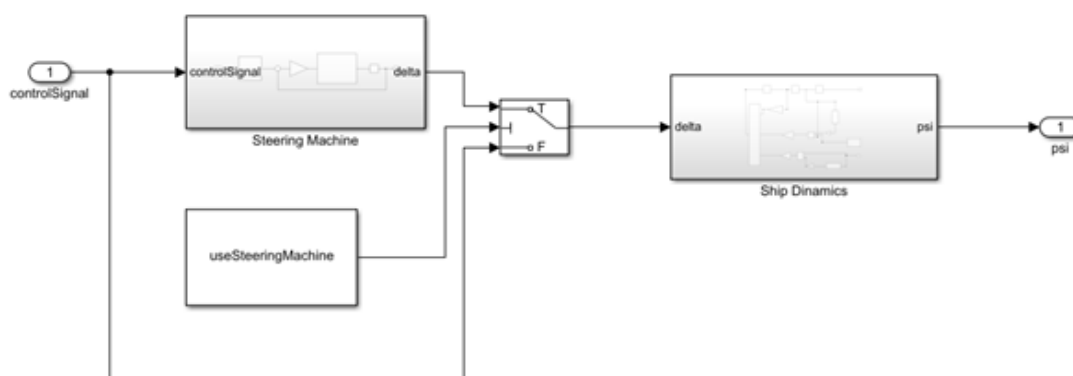
- Wylosuj pozycje początkową z przestrzeni rozwiązań,
- Zapisz aktualną pozycje cząstki jako najlepsze lokalne rozwiązanie,
- Jeśli rozwiązanie to jest lepsze od najlepszego rozwiązanie globalnego, to zapisz je jako najlepsze,
- Wylosuj prędkość początkową,
- Dopóki nie zostanie spełniony warunek stopu (np. minie określona liczba iteracji):
  - Dla każdej cząstki ze zbioru:
    - Wybierz losowe wartości parametrów  $r_l$  i  $r_g$ ,
    - Zaktualizuj prędkość cząstki wg powyższego wzoru,
    - Zaktualizuj położenie cząstki w przestrzeni,
    - Jeśli aktualne rozwiązanie jest lepsze od najlepszego rozwiązania lokalnego:
      - Zapisz aktualne rozwiązanie jako najlepsze lokalnie,
    - Jeśli aktualne rozwiązanie jest lepsze od najlepszego rozwiązania globalnego:
      - Zapisz aktualne rozwiązanie jako najlepsze globalnie.

### 3. Propozycja rozwiązania

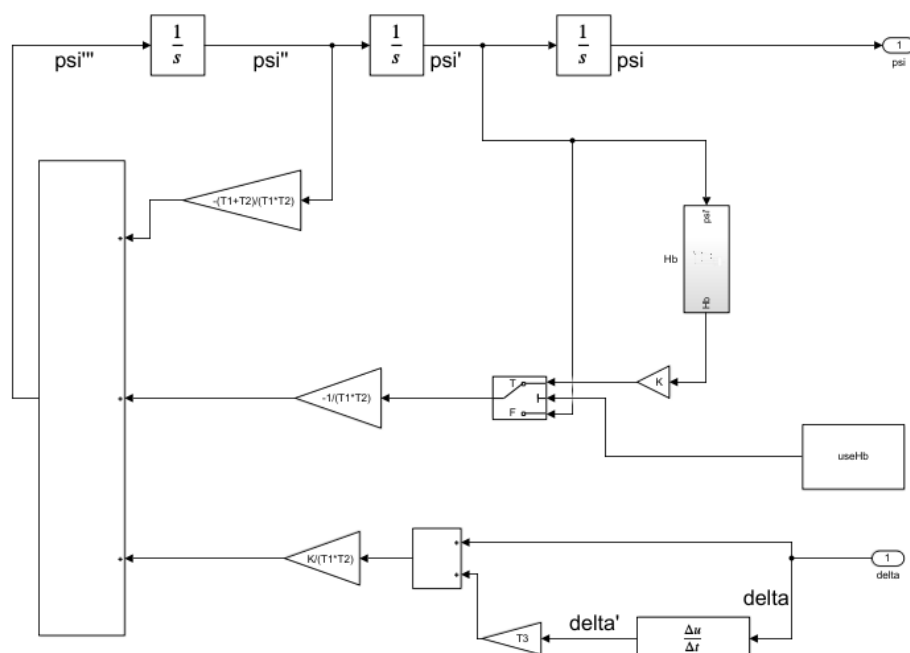
#### 3.1 Schemat działania aplikacji:

- Inicjalizacja parametrów i początkowych wartości,
  - nPop - wielkość populacji,
  - n\_iter - ilość iteracji,
  - W - współczynnik wagowy inercji,
  - c1, c2 - stałe przyspieszenia określające dążenie cząsteczek do najlepszych wartości,
  - Je - wskaźnik jakości,
  - Wartości maksymalne  $k_{pmax}$ ,  $k_{imax}$  i  $k_{dmax}$  regulatora PID.
- Losowanie pozycji początkowej z przestrzeni rozwiązań,
- Zapis aktualnej pozycji cząstki jako najlepszego lokalnego rozwiązania,
- Sprawdzenie jakości pozycji,
- Aktualizacja prędkości,
- Aktualizacja położeń,
- Sprawdzenie jakości po aktualizacji,
- Porównanie wskaźnika jakości, wyznaczenie najlepszego rozwiązania globalnego,
- Zapisanie historii,
- Wynik PID.

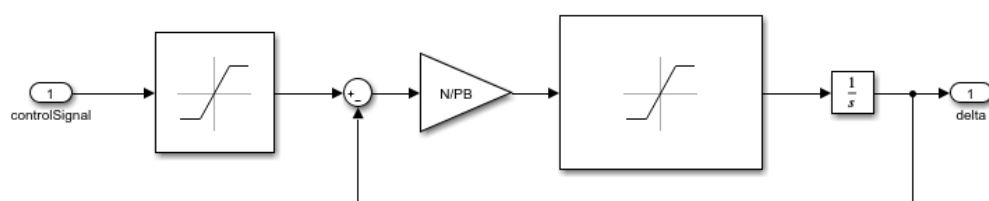
#### 3.2 Model statku w Simulink



Rysunek 3: Model statku



Rysunek 4: Ship dynamics



Rysunek 5: Steering machine

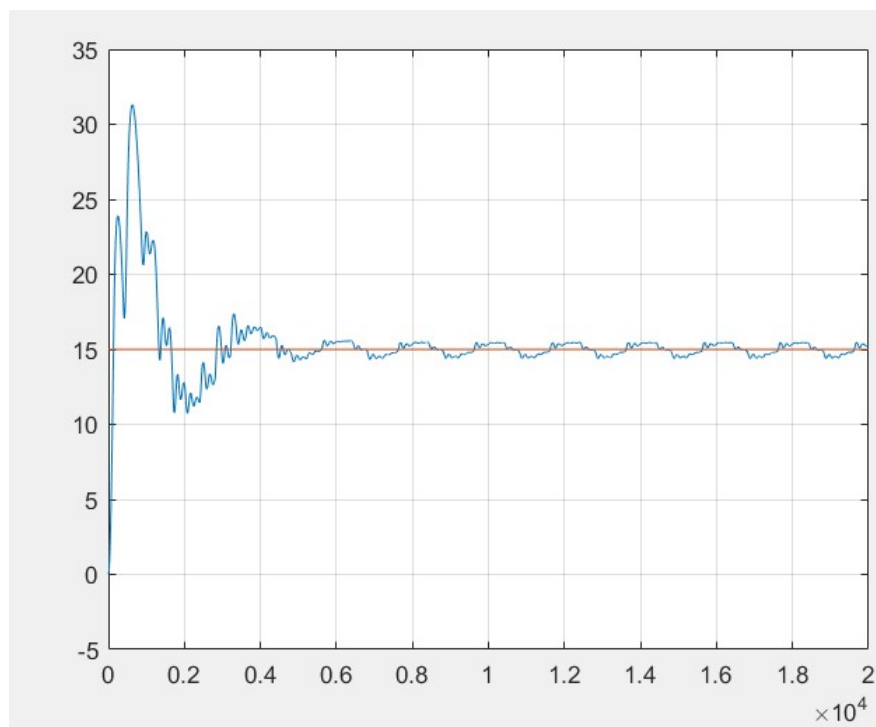
## 4. Aplikacja

Aplikację zbudowano w oparciu o język programowania MATLAB, w środowisku Matlab oraz Matlab Simulink. Aplikacja składa się z następujących części:

- PSO – część odpowiadająca za algorytm PSO,
- InitializeShipModelParameters – część inicjalizująca parametry modelu statku,
- ShipCoureControlModel – część w Simulink’u, odpowiadająca za model statku w postaci schematu blokowego,
- RunHistorySimulation – część odpowiadająca za symulację położenia cząstek dla każdej z iteracji,
- CalculateExcess – część odpowiedzialna za sprawdzenie górnego limitu parametrów  $k_{pmax}$ ,  $k_{imax}$  i  $k_{dmax}$ ,
- CalculateUnderflow - część odpowiedzialna za sprawdzenie dolnego limitu parametrów  $k_{pmax}$ ,  $k_{imax}$  i  $k_{dmax}$ ,
- CalculateLoss – część obliczająca uchyb.

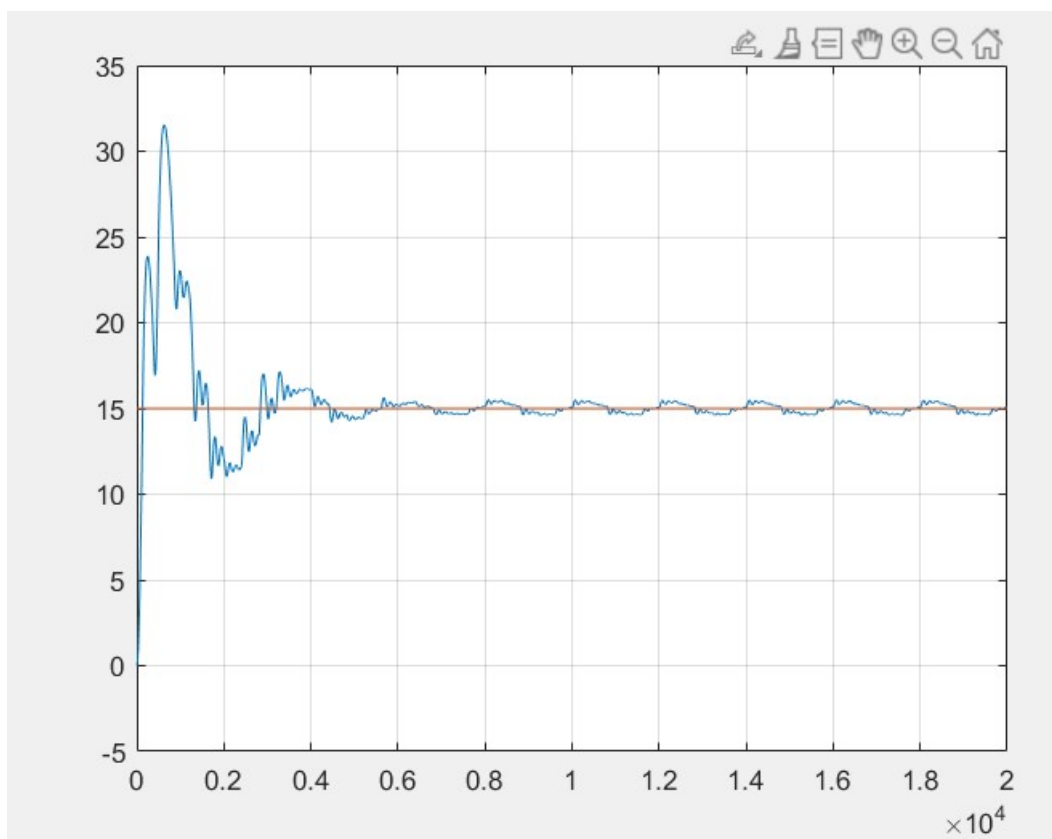
## 5. Eksperymenty

Podczas testowania wykonywano próby dla różnych parametrów i początkowych wartości. Przykładowe wyniki wraz z ich parametrami przedstawiają poniższe rysunki.



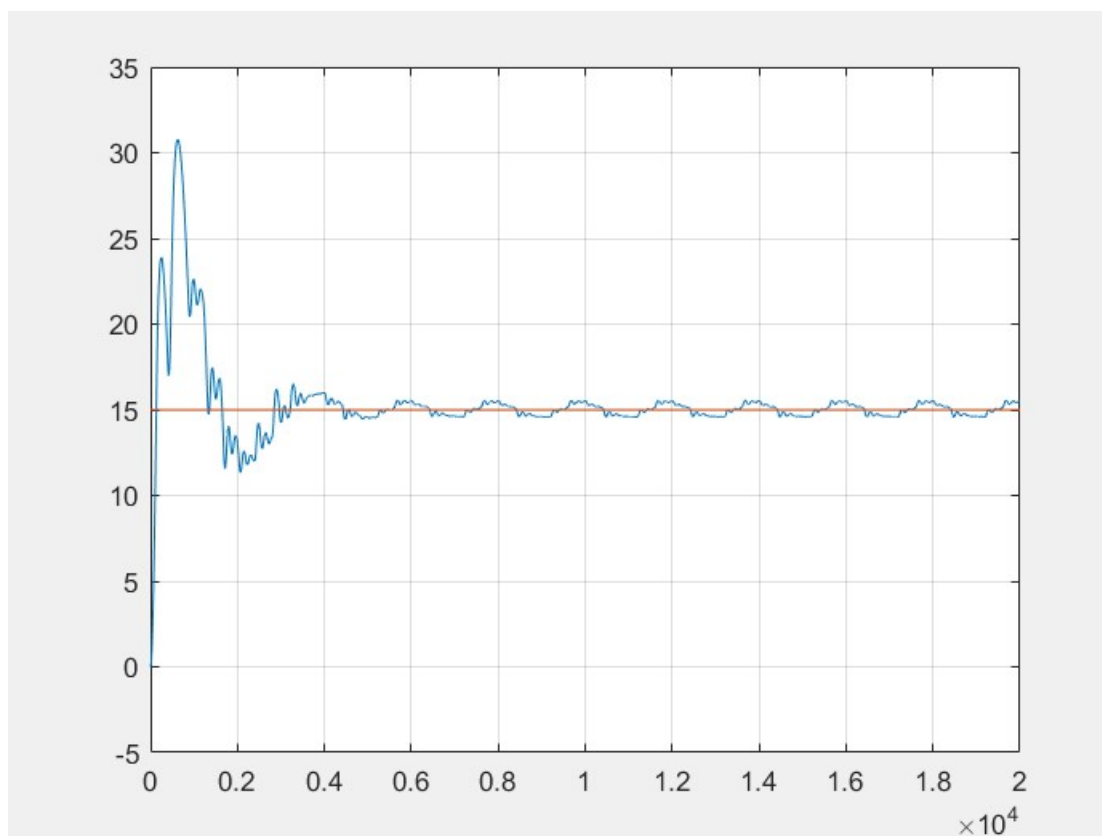
Rysunek 6: Test 1

Parametry:  $c1 = c2 = 1.1$ ,  $W = 0.5$ ,  $nPop = 20$ ,  $n\_iter = 20$ .



*Rysunek 7: Test 2*

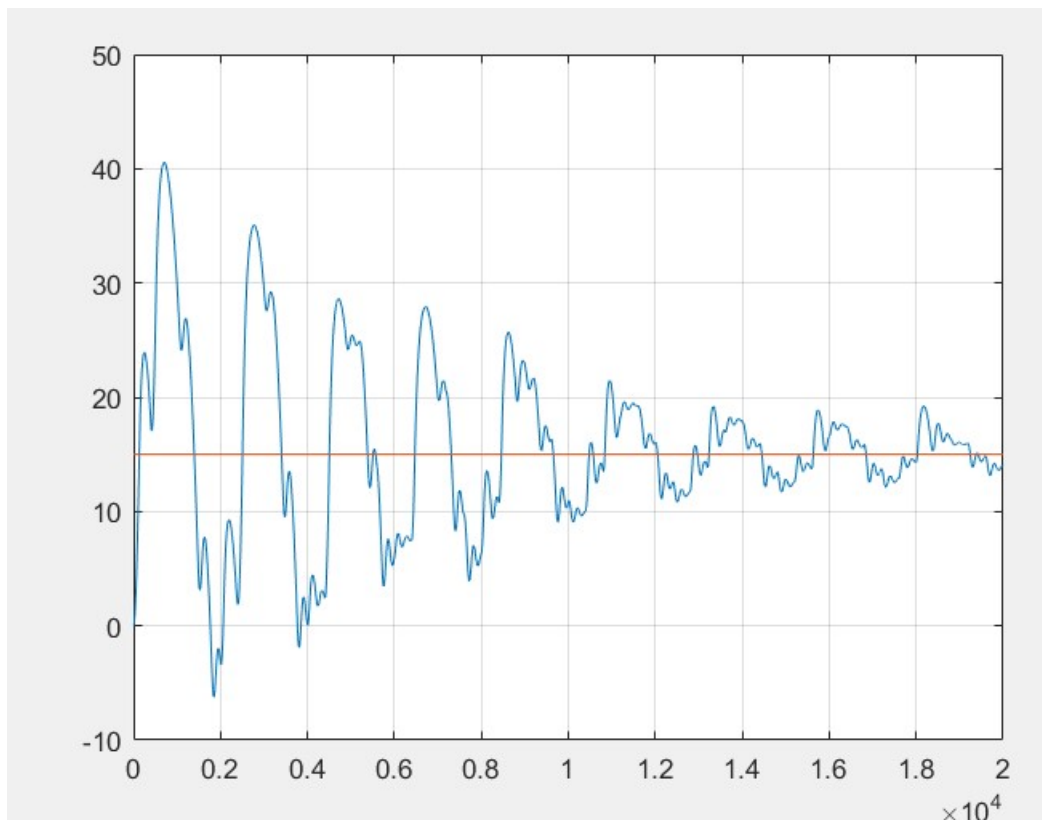
Parametry:  $c_1 = c_2 = 1.5$ ,  $W = 0.1$ ,  $nPop = 20$ ,  $n\_iter = 20$ .



*Rysunek 8: Test 3*

Parametry:  $c_1 = 1.1$ ,  $c_2 = 1.5$ ,  $W = 0.5$ ,  $nPop = 20$ ,  $n\_iter = 20$ .

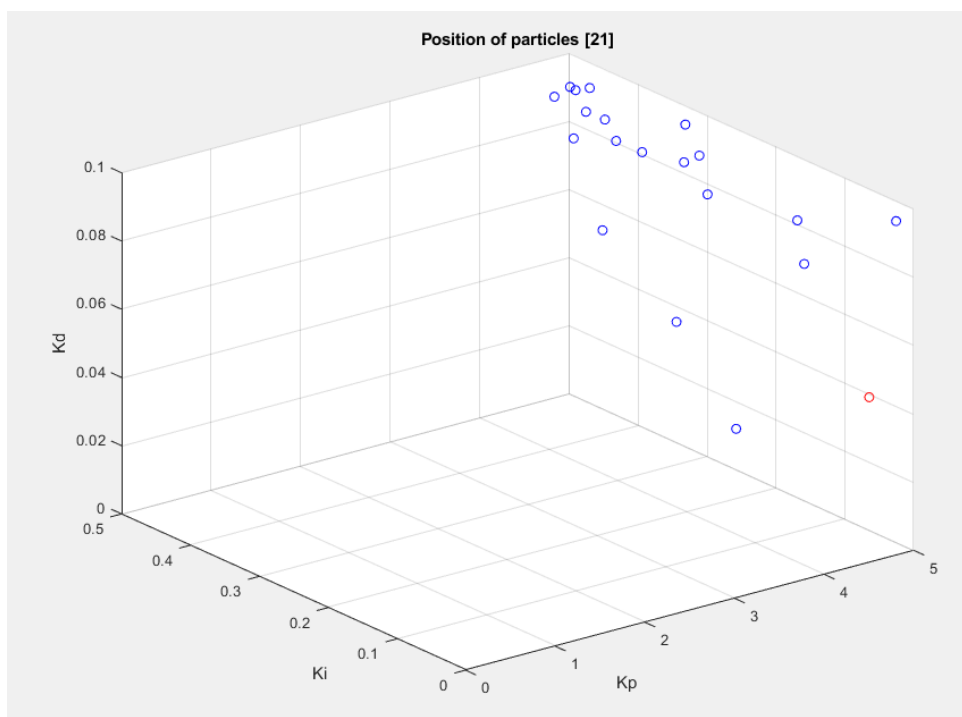




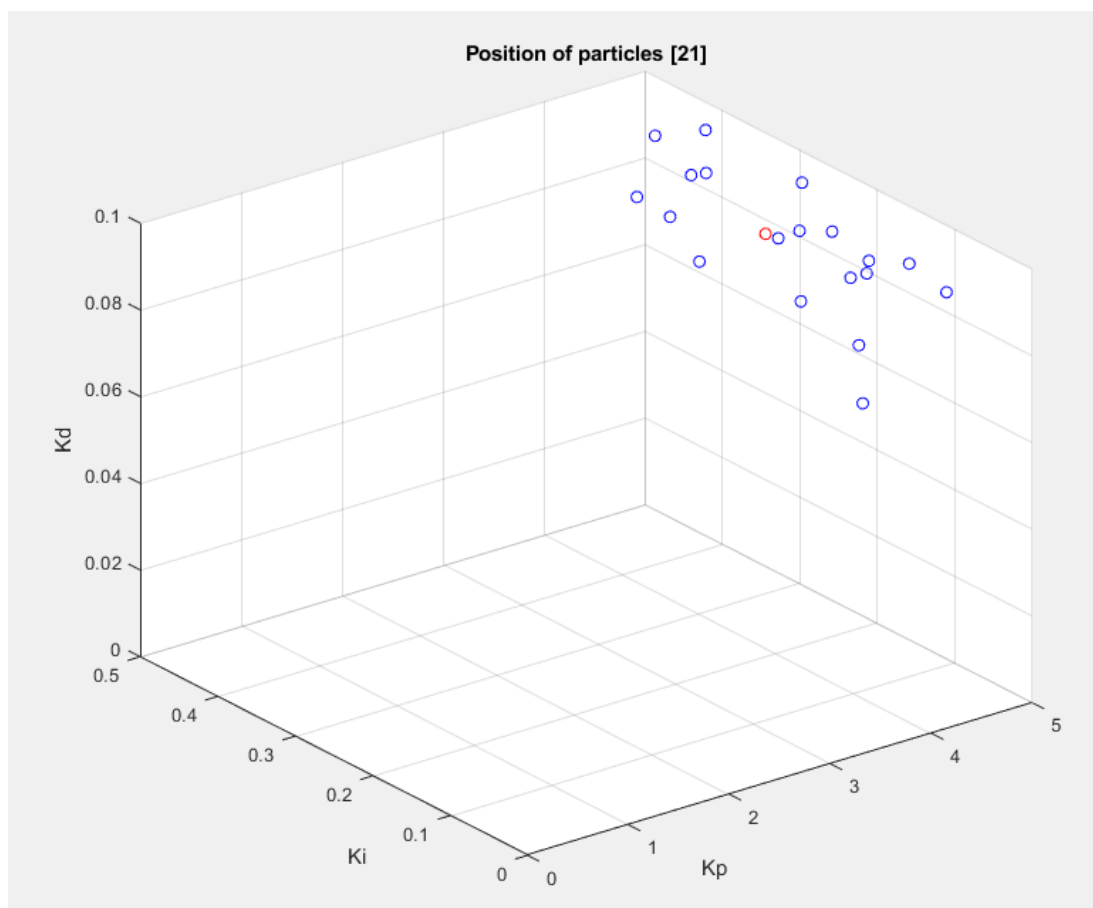
*Rysunek 9: Test 4*

Parametry:  $c_1 = c_2 = 1.5$ ,  $W = 0.5$ ,  $nPop = 20$ ,  $n\_iter = 20$ .

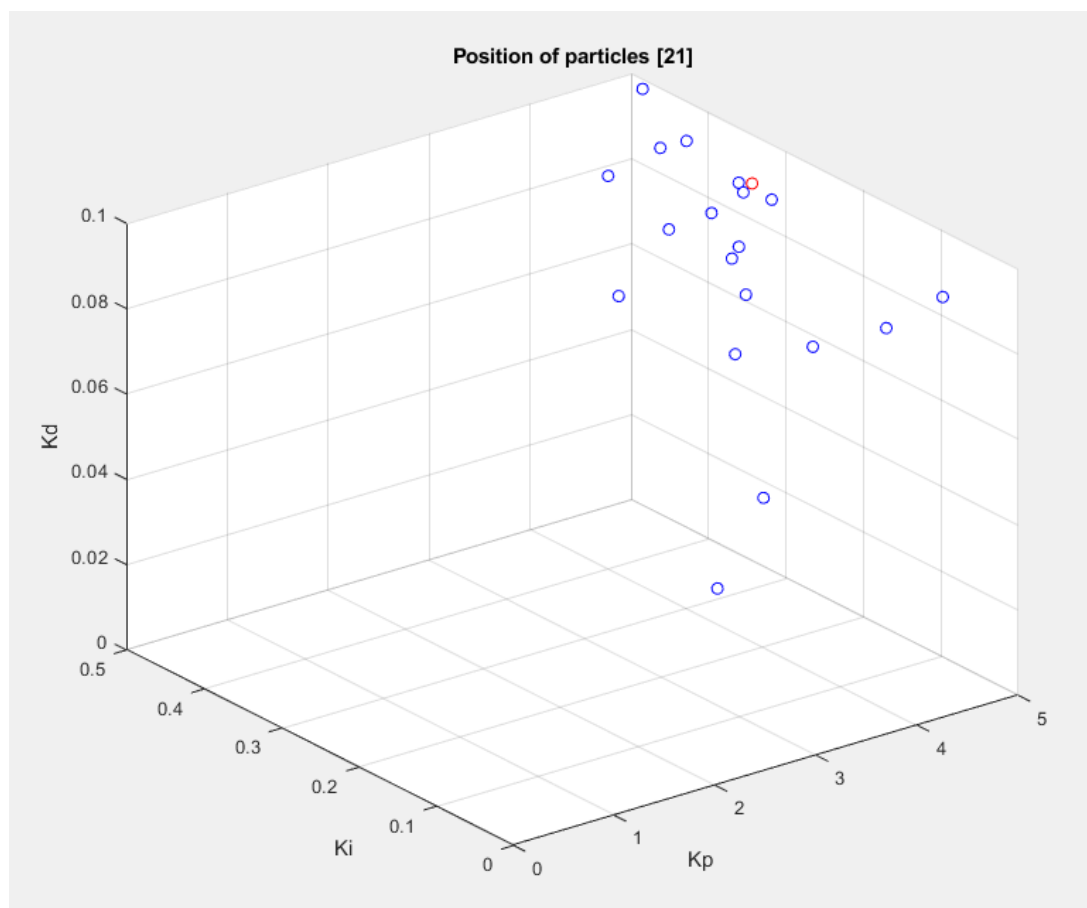
Podczas eksperymentów wykonywano także symulacje przedstawiające położenie cząstek dla poszczególnych iteracji. Poniższe rysunki przedstawiają końcowe położenie cząstek dla danych testów 1-4.



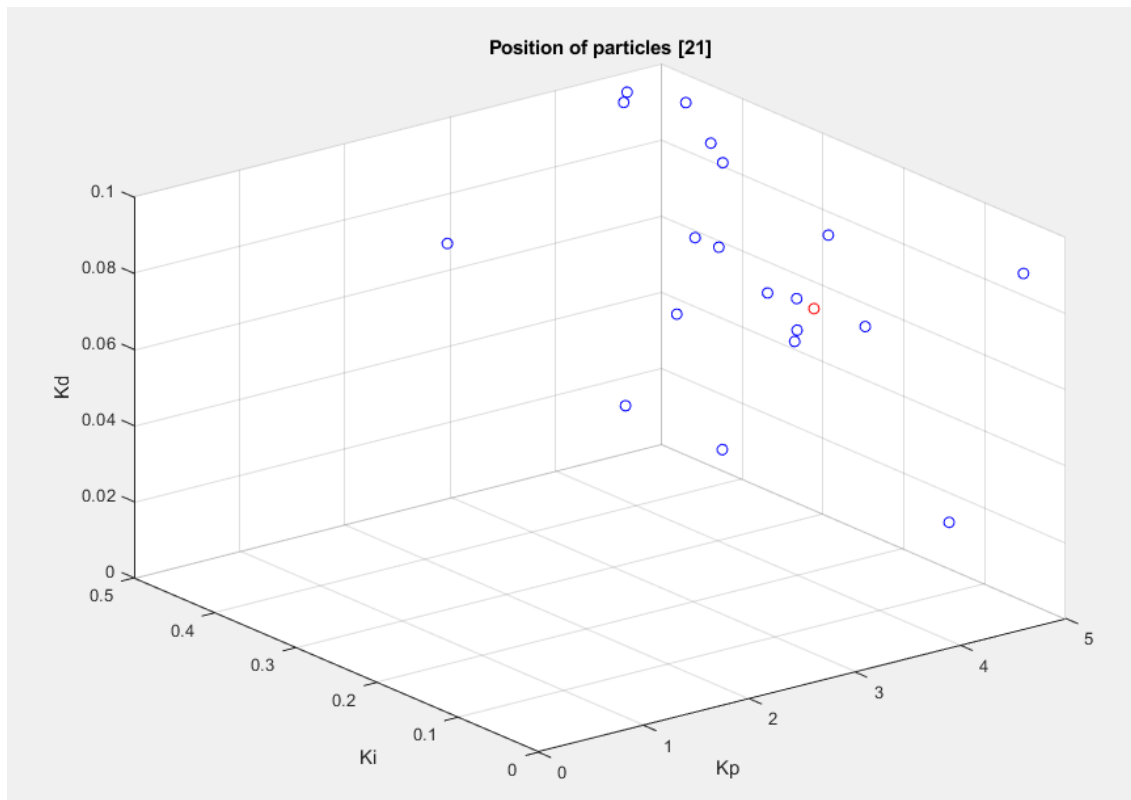
*Rysunek 10: Końcowe położenia cząstek - Test 1*



*Rysunek 11: Końcowe położenia cząstek - Test 2*



*Rysunek 12: Końcowe położenia cząstek - Test 3*



Rysunek 13: Końcowe położenie cząstek - Test 4

## 6. Podsumowanie i wnioski

Otrzymane wyniki (Test 1-3) charakteryzują się szybkim czasem regulacji, jednakże dużym przeregulowaniem oraz oscylacjami. Test nr 4 charakteryzuje się natomiast, dużymi oscylacjami i przeregulowaniem. Każdy z testów dąży do wartości zadanej. Podsumowując, odpowiedzi te nie są odpowiedziami zadowalającymi, a lepsze nastawy regulatora PID można uzyskać metodą doświadczalną. Można stwierdzić zatem, że algorytm PSO nie jest optymalnym sposobem doboru nastaw regulatora PID.

# Spis literatury

1. „Badanie i analiza algorytmów rojowych w optymalizacji parametrów regulatora kursu statku”, Mirosław Tomera, oddział Gdański PTETiS, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 46.
2. <http://www.alife.pl/optymalizacja-rojem-czastek>.