

Daniel Subocz 154777  
Mateusz Stencel 149110  
Adam Dzierżawski 136929  
Marcin Bieszk 160232

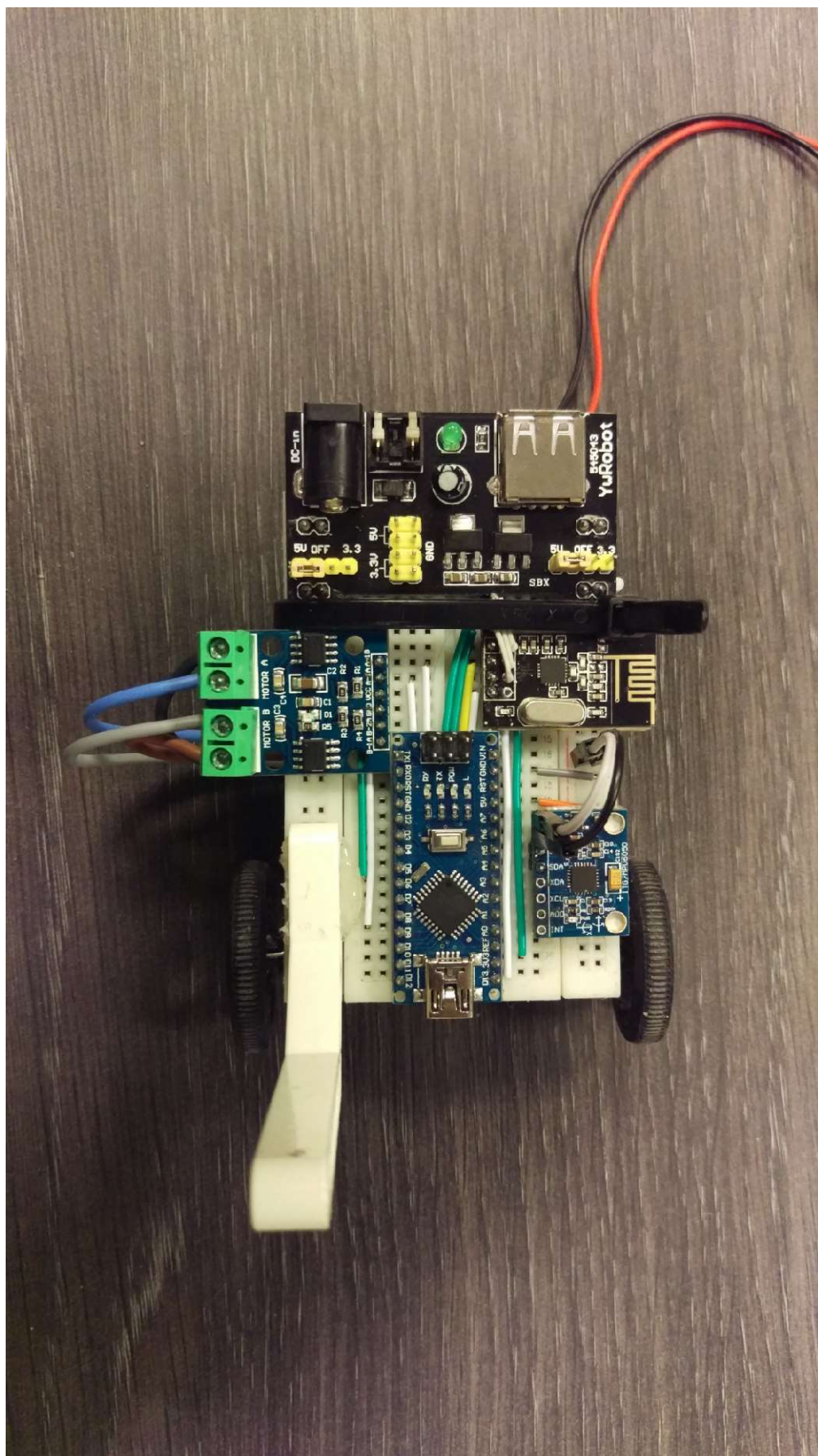
# Roboty mobilne

---

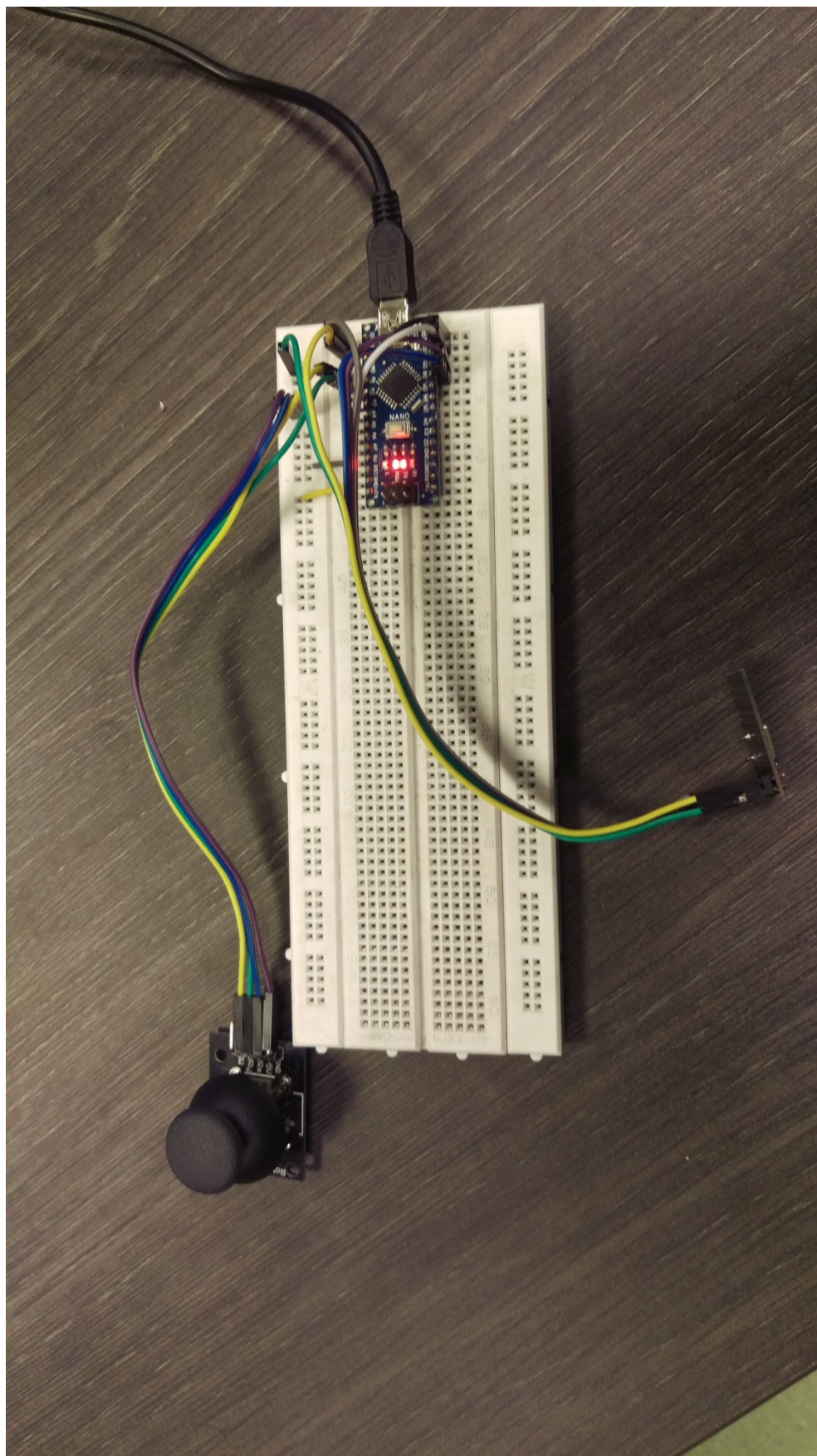
## Sprawozdanie z projektu

### 1. Wstęp

W realizowanym projekcie skonstruowano robota jeżdżącego, na pokładzie którego zamontowano akcelerometr oraz żyroskop w celu zebrania informacji o położeniu i orientacji robota. Komunikacja z robotem została zrealizowana poprzez moduł radiowy. Zebrane dane zostały przetworzone w środowisku Matlab. Budowa robota oraz wyniki obliczeń zostaną przedstawione w niniejszym sprawozdaniu.



Rysunek 1. Robot.



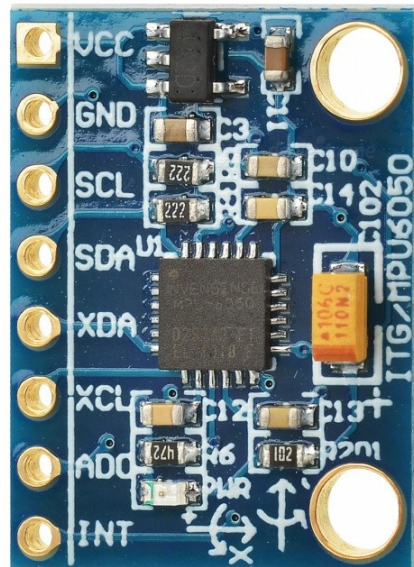
Rysunek 2. Nadajnik.



## 2. Konstrukcja robota

### a) Czujniki [1]

W robocie wykorzystano moduł MPU-6050. Zawiera on 3-osiowy żyroskop oraz 3-osiowy akcelerometr. Wskład modułu wchodzi również czujnik temperatury, lecz nie jest on wykorzystywany w tym projekcie. Podczas pomiarów temperatura była stała. Na rysunku 3. przedstawiono wygląd modułu MPU-6050.

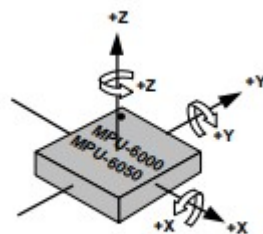


Rysunek 3. Płytką modułu 6050.

Żyroskop umożliwia pomiar prędkości obrotu. Wykorzystywany układ zawiera 3 niezależne żyroskopy służące do pomiaru obrotu dla każdej z osi X, Y i Z.

Akcelerometr służy do pomiaru przyspieszenia. Podobnie jak w przypadku żyroskopu w układzie zastosowano 3 akcelerometry, po jednym dla każdej z osi X, Y oraz Z.

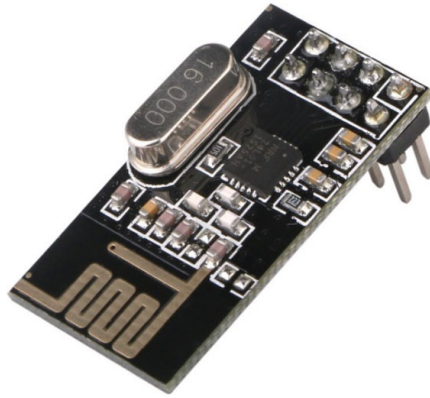
Na rysunku 4 przedstawiono układ współrzędnych wykorzystany w module MPU-6050.



Rysunek 4. Układ współrzędnych modułu MPU-6050.

### b) Komunikacja [2]

Do komunikacji robota ze stacją Arduino wykorzystano moduł radiowy nRF24L01. Zawiera nadajnik i odbiornik pracujący na częstotliwości 2,4 GHz. Wygląd modułu przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Moduł radiowy nRF24L01.

## 3. Sterowanie

Operator steruje robotem za pomocą joysticka umieszczonego przy nadajniku. Kąt oraz kierunek wychylenia gałki jest przekształcany przez przetwornik do postaci cyfrowej, a następnie przesyłany za pomocą modułu radiowego. Informacja odebrana przez moduł znajdujący się w robocie jest przekazywana do Arduino.

Do sterowania silnikami wykorzystywane są wyjścia PWM (pozwalające na modulację szerokości impulsów), przez które sygnał sterujący trafia do wzmacniaczy. Za każdy z silników odpowiedzialne są dwa wzmacniacze. W zależności od pożądanego kierunku ruchu (a zatem odpowiadającym mu kierunkom obrotów silnika) sygnały przesyłane są na odpowiednie wyjścia.

Informacja o położeniu robota w przestrzeni jest otrzymywana poprzez akcelerometr i żyroskop. Dane z nich przesyłane są do operatora poprzez kanał modułu radiowego.

## 4. Filtr komplementarny [3]

Ideą filtru komplementarnego jest wykorzystanie kilku źródeł informacji (czujników) obciążonych różnym rodzajem zakłóceń. Głównym kryterium podziału zakłóceń jest częstotliwość ich występowania. Każdy pomiar jest filtrowany, a następnie sumowany z innymi, dając informację o badanym parametrze.

Kąt był estymowany za pomocą filtra komplementarnego korzystając ze wzoru:

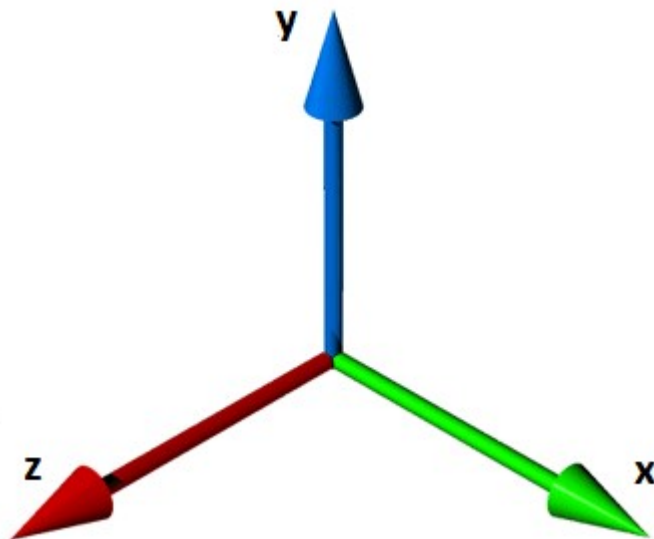
$$\alpha_k = p\alpha_{k-1} + (1 - p)\alpha_k^A + p(\alpha_k^G - \alpha_{k-1}^G)$$

- $\alpha_k$  oznacza estymowany kąt,
- $\alpha_{k-1}$  oznacza estymowany kąt w poprzednim obiegu pętli,
- $\alpha_k^A$  oznacza kąt wyznaczony z akcelerometru,
- $\alpha_k^G$  oznacza kąt wyznaczony z żyroskopu.

$$p = \frac{T}{\Delta t + T}$$

- $T$  jest stałą czasową elementu inercyjnego i określa dynamikę filtra,
- $\Delta t$  oznacza jeden okres próbkowania.

Dane z akcelerometru w pliku data.txt przedstawiają pomiar kolejno dla osi x, y, z. Podczas pomiaru robot poruszał się tak, jak zostało to zaprezentowane w pliku Film.avi. Podczas jazdy robot jest lekko pochylony. Akcelerometr na robocie został zamontowany pionowo, układ współrzędnych został przedstawiony na rysunku poniżej.



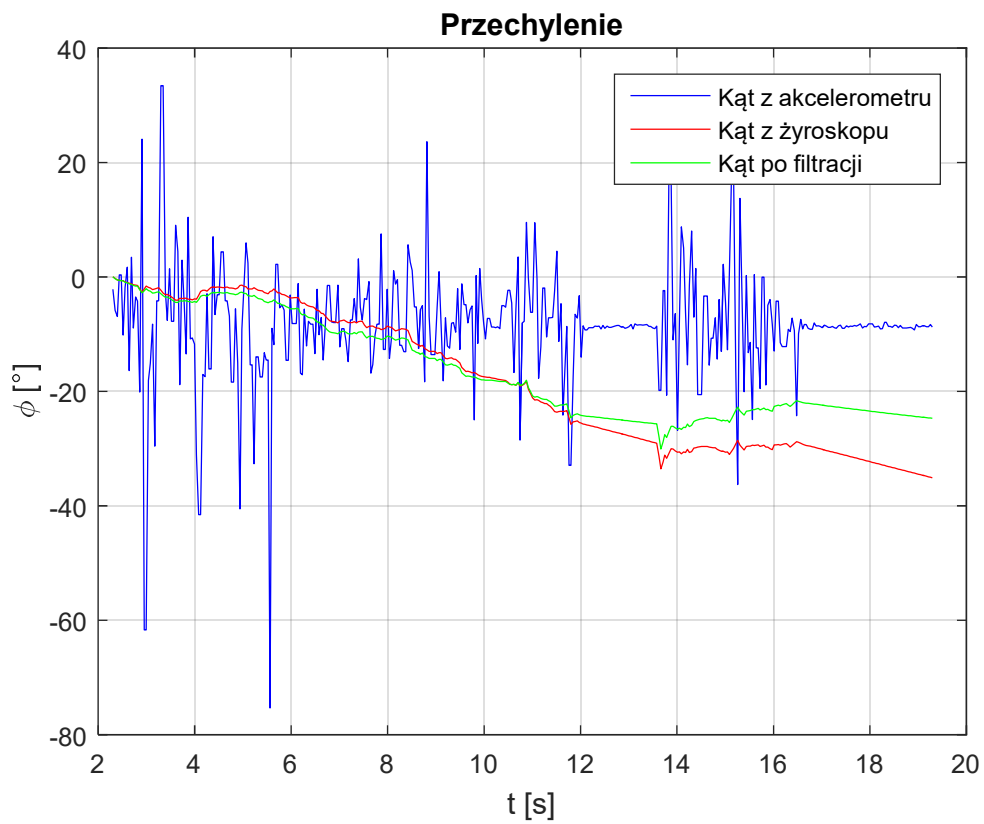
Rysunek 6. Układ współrzędnych akcelerometru.

Na podstawie pomiarów z akcelerometru i żyroskopu dokonano estymacji orientacji robota poprzez wyznaczenie kątów przechylenia, pochylenia i odchylenia. Pomiar z żyroskopu został scałkowany, natomiast z danych z akcelerometru kąty obliczono za pomocą wzorów<sup>[4]</sup>:

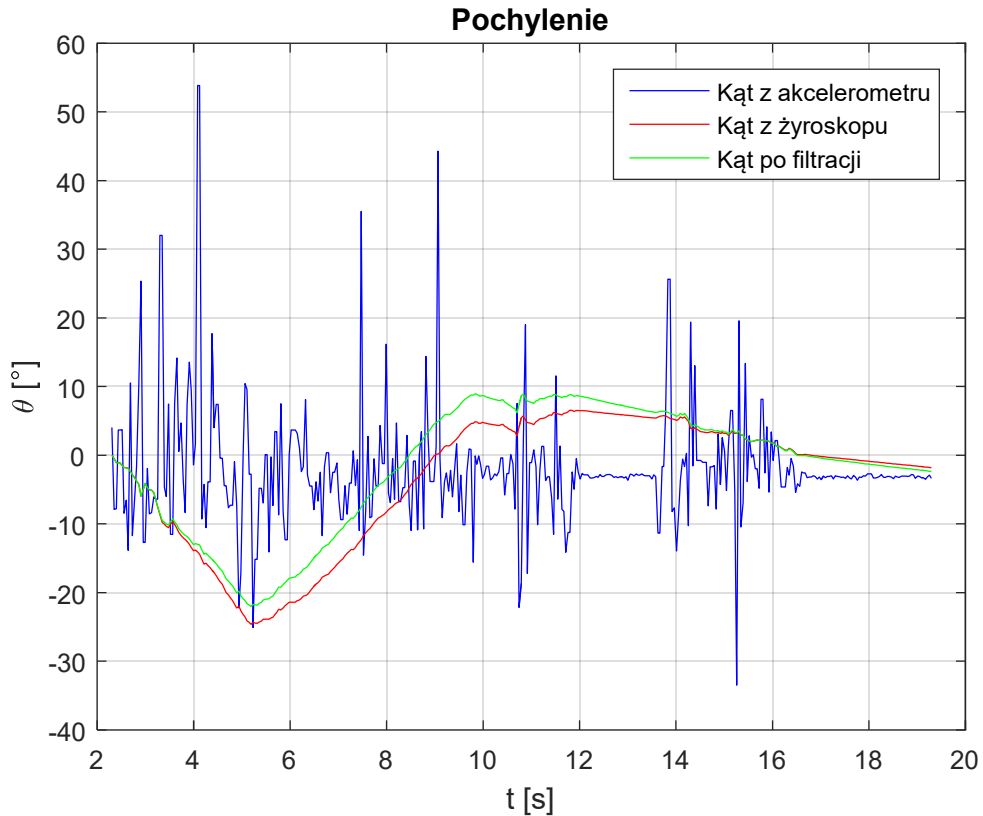
- przechylenie:  $\varphi = \text{atan2}(a_y, a_z)$  obrót względem osi x,
- pochylenie:  $\theta = \text{atan2}(-a_x, \sqrt{a_y^2 + a_z^2})$  obrót względem osi z,
- odchylenie:  $\psi = 0$  obrót względem osi y.

Robot poruszał się w kierunku osi x.

Poniższe wykresy przedstawiają estymowane kąty dla  $T = 0,3$ .



Wartość kąta przechylenia jest w przybliżeniu równa 0, co wiąże się z tym, że robot poruszał się na dwóch jednakowych kołach i nie „bujął się” na boki.



Wartość kąta pochylenia wynosi kilka stopni (wartości ujemne), gdyż robot jest lekko pochylony do tyłu. Można tu zauważyć wpływ zakłóceń żyroskopu – od 12 s do 14 s robot nie porusza się, a mimo to wartość mierzona przez żyroskop maleje.

Wyznaczenie kąta  $\psi$  – kąt odchylenia jest wyznaczany tylko na podstawie kąta wyliczanego z całkowania prędkości kątowej wokół osi pionowej (Y). Równanie opisujące działanie filtru dla kąta  $\psi$  ma następującą postać<sup>[4]</sup>:

$$\psi_k = p\psi_{k-1} + (1 - p)\psi_k^A + p(\psi_k^G - \psi_{k-1}^G)$$

Wartość kąta  $\psi^G$  wyznaczona z pomiaru żyroskopu w osi Y robota:

$$\psi_k^G = \psi_{k-1}^G + g_{Yk}\Delta t$$

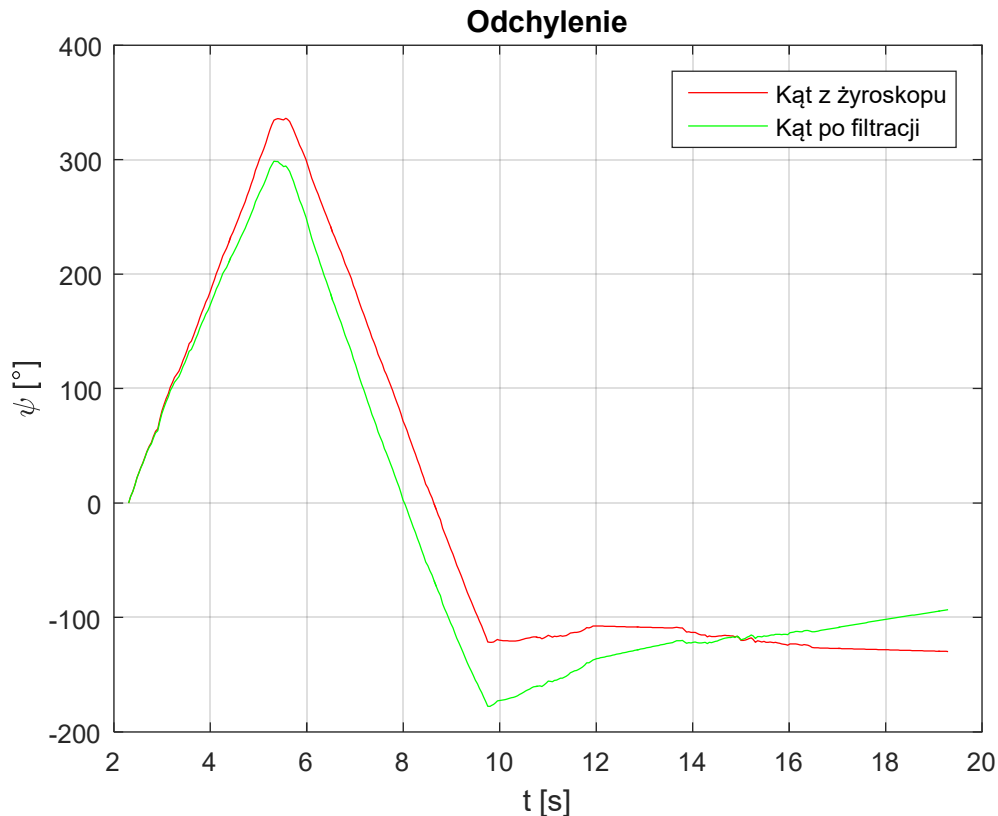
Ze względu na zastosowanie akcelerometru bez magnetometru nie można wyznaczyć wielkości  $\psi^A$ , gdyż poniższe równanie wymaga pomiarów z magnetometru<sup>[4]</sup>:

$$\psi = \text{atan}\left(\frac{m_y \sin \phi - m_z \cos \phi}{m_x \cos \theta + m_y \sin \phi \sin \theta + m_z \cos \phi \cos \theta}\right)$$

Gdzie  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$  oznaczają pomiary z magnetometru.

Na poniższym rysunku przedstawiono przebieg wartości kąta  $\psi$ :





Wartości otrzymane z obliczeń zgadzają się z rzeczywistością. Na filmie widać, że robot najpierw wykonuje niepełny obrót w lewo (ok. 300 stopni), następnie obrót w prawo, a potem jedzie lekko na lewo względem kierunku startu, a na końcu cofa. Skręt w lewo oznacza na wykresie wzrost wartości kąta  $\psi$ , a skręt w prawo – spadek wartości tego kąta.

## 5. Bibliografia

1. <https://www.mschoeffler.de/2017/10/05/tutorial-how-to-use-the-gy-521-module-mpu-6050-breakout-board-with-the-arduino-uno/?fbclid=IwAR1b4nwctzE7MN69sv8sQ6Hz9cEpuNamm4CjHQWHaZxuYZGf0z2r41AdSrU> (data dostępu 29.12.2018)
2. [https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/?fbclid=IwAR2TgYz\\_7AKmRegPGXhLKy8uoDyBC4oRMnuNGZOJC40nlX4D24kpoXRicIU](https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/?fbclid=IwAR2TgYz_7AKmRegPGXhLKy8uoDyBC4oRMnuNGZOJC40nlX4D24kpoXRicIU) (data dostępu 29.12.2018)
3. Grygiel R., Bieda R., Wojciechowski K.: *Metody wyznaczania kątów z żyroskopów dla filtru komplementarnego na potrzeby określania orientacji IMU*, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 90 NR 9/2014.
4. Bieda R. Wyznaczanie orientacji IMU w przestrzeni 3D z wykorzystaniem macierzy tensora rotacji oraz niestacjonarnego filtru Kalmana, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 12/2013. - [https://www.researchgate.net/profile/Robert\\_Bieda/publication/289714998\\_Determining\\_the\\_IMU\\_orientation\\_in\\_3D\\_space\\_using\\_tensor\\_matrix\\_rotation\\_a](https://www.researchgate.net/profile/Robert_Bieda/publication/289714998_Determining_the_IMU_orientation_in_3D_space_using_tensor_matrix_rotation_a)

*nd\_non-stationary\_Kalman\_filter/links/586ab8d508ae8fce4918e609/Determining-the-IMU-orientation-in-3D-space-using-tensor-matrix-rotation-and-non-stationary-Kalman-filter.pdf*