

# **Robotyka w domu przy użyciu Raspberry Pi Pico**

Budowanie autonomicznych robotów przy użyciu  
elastycznego kontrolera Raspberry Pi Pico i języka Python

**Danny Staple**

Przekład: Mariusz Rogulski i Witold Sikorski

APN Promise 2023

# Spis treści

<b>Wprowadzenie</b> .....	<b>xi</b>
---------------------------	-----------

## **Część 1: Podstawy – Wprowadzenie do robotyki z Raspberry Pi Pico**

### **1**

<b>Planowanie robota z użyciem Raspberry Pi Pico</b> .....	<b>3</b>
--	----------

Wymagania techniczne.....	4	Test dopasowania robota na Raspberry Pi Pico.....	21
Co to jest Raspberry Pi Pico i dlaczego nadaje się do robotyki?.....	4	Tworzenie pierwszego elementu do testu dopasowania.....	22
Mikrokontroler obsługujący język Python.....	4	Silniki.....	24
Interfejsy Raspberry Pi Pico dla czujników i urządzeń.....	7	System zasilania.....	25
Co to jest CircuitPython?.....	11	Tworzenie przybliżonego podwozia.....	25
Planowanie robota z użyciem Raspberry Pi Pico.....	12	Rozmieszczanie elementów do testu.....	26
Ogólny zarys planowania robota.....	12	Zalecana lista zakupów dla podstaw robota.....	28
Uwaga na temat kompromisów.....	15	Części robota i gdzie je znaleźć.....	28
Wybieranie podwozia robota.....	15	Pracownia dla robota i otwarte warsztaty.....	30
Wybór systemów zasilania.....	17	Podsumowanie.....	32
Wykorzystanie pinów.....	21	Ćwiczenia.....	32
		Materiały uzupełniające.....	32

### **2**

<b>Przygotowywanie Raspberry Pi Pico</b> .....	<b>33</b>
--	-----------

Wymagania techniczne.....	33	Miganie diodą za pomocą kodu.....	39
Załadowanie CircuitPythona do Raspberry Pi Pico.....	34	Lutowanie listwy pinowej do Raspberry Pi Pico.....	40
Przygotowanie biblioteki CircuitPython dla Pico.....	35	Podsumowanie.....	46
Kodowanie dla Pico – pierwsze kroki.....	36	Ćwiczenia.....	46
Pobieranie edytora Mu.....	36	Materiały uzupełniające.....	46
Włączanie diody LED Pico za pomocą CircuitPythona.....	38		

**3****Projektowanie podwozia robota w programie FreeCAD ..... 47**

Wymagania techniczne.....	48	Modelowanie płyty podwozia.....	70
Wprowadzenie do programu FreeCAD.....	48	Modelowanie pozostałych części.....	72
Ekran FreeCADa.....	48	Rozwiązywanie problemów z modelem.....	74
Wybieranie środowiska pracy.....	49	Modelowanie trójwymiarowego	
Ustawienia FreeCADa.....	50	mocowania dla kółka kulowego.....	75
Wykonywanie szkiców podwozia		Wykonywanie rysunków technicznych	
robota w programie FreeCAD.....	52	w programie FreeCAD.....	77
Przygotowanie dokumentu.....	53	Konfiguracja strony.....	77
Szkicowanie zarysu podwozia.....	54	Dodawanie części do rysunku.....	78
Tworzenie głównego szkicu dla		Przygotowanie rysunku do druku.....	79
elementów znajdujących się powyżej.....	60	Podsumowanie.....	80
Szkicowanie otworów dla silnika.....	66	Ćwiczenia.....	82
Planowanie lokalizacji kółka kulowego.....	69	Materiały uzupełniające.....	83
Modelowanie części podwozia na podstawie szkiców.....	70		

**4****Budowanie robota na bazie Pico..... 85**

Wymagania techniczne.....	86	Podłączanie Raspberry Pi Pico w robocie.....	99
Wycinanie części ze styrenu.....	87	Łączenie Pico i sterownika silnika z płytką stykową.....	99
Przenoszenie wymiarów z CAD na		Dodawanie baterii.....	102
arkusz z tworzywa sztucznego.....	87	Podłączenie silników i enkoderów.....	103
Nacinanie plastikowego arkusza.....	90	Włączenie zasilania robota.....	105
Wykańczanie i szlifowanie płyty podwozia.....	94	Podsumowanie.....	106
Montaż podwozia robota.....	96	Ćwiczenia.....	106
Mocowanie kółka kulowego i koszyka na baterie.....	96	Materiały uzupełniające.....	106
Mocowanie silników i kół.....	98		

**5****Sterowanie silnikami za pomocą Raspberry Pi Pico..... 109**

Wymagania techniczne.....	109	Wprowadzenie do sterowania	
Jazda w przód i w tył.....	110	prędkością za pomocą modulacji	
Testowanie poszczególnych		szerokości impulsów.....	118
silników za pomocą CircuitPythona.....	110	Jazda szybciej i wolniej.....	119
Sterowanie kołami po linii prostej.....	114	Skręcanie w trakcie ruchu.....	122
Sterowanie dwoma silnikami.....	116	Jazda po zaplanowanej trasie.....	124

Połączenie ruchów po linii prostej i skrętów . . . . .	124	Ćwiczenia . . . . .	127
Wady takiego sposobu jazdy . . . . .	126	Materiały uzupełniające . . . . .	127
Podsumowanie . . . . .	127		

## **Część 2: Łączenie Raspberry Pi Pico z prostymi czujnikami i wyjściami**

### **6**

#### **Pomiar ruchu za pomocą enkoderów na Raspberry Pi Pico . . . . . 131**

Wymagania techniczne . . . . .	132	Instrukcje i rejestry PIO . . . . .	142
Enkodery i odometria . . . . .	132	Tworzenie licznika z PIO . . . . .	146
Pomiary absolutne i względne . . . . .	132	Pomiar impulsów enkodera	
Rodzaje enkoderów . . . . .	132	odpowiadających ruchowi . . . . .	147
Dane w impulsach z enkodera . . . . .	133	Tworzenie w PIO prostej pętli wykrywania zmian . . . . .	147
Podłączanie enkoderów w robocie z Raspberry Pi Pico	135	Tworzenie dwukierunkowego licznika z PIO . . . . .	149
Badanie silników . . . . .	135	Tworzenie kodu enkodera	
Sprawdzanie podłączenia . . . . .	136	do wielokrotnego użytku . . . . .	154
Programowanie PIO w Raspberry Pi Pico . . . . .	136	Pomiar zliczeń dla ustalonego czasu . . . . .	156
Wprowadzenie do programowania PIO . . . . .	137	Podsumowanie . . . . .	157
Wprowadzenie do PIOASM . . . . .	138	Ćwiczenia . . . . .	157
Wykrywanie wejścia za pomocą PIO . . . . .	140	Materiały uzupełniające . . . . .	158

### **7**

#### **Planowanie i zakup większej liczby komponentów . . . . . 159**

Wymagania techniczne . . . . .	160	Plan umiejscowienia czujników odległości . . . . .	166
Wprowadzenie do czujników . . . . .	160	Lista zakupów – części i gdzie je znaleźć . . . . .	167
Typy czujników analogowych . . . . .	161	Przygotowywanie robota . . . . .	168
Impulsy o zmiennym czasie . . . . .	161	Projektowanie półki . . . . .	169
Czujniki korzystające z magistrali danych . . . . .	161	Wycinanie półki . . . . .	171
Schemat blokowy robota . . . . .	161	Projektowanie wsporników przednich czujników . . . . .	174
Wybór typów komponentów . . . . .	162	Wycinanie wsporników czujnika . . . . .	176
Czujniki odległości . . . . .	162	Przygotowanie płyty podwozia . . . . .	180
Inercyjna jednostka pomiarowa . . . . .	164	Składanie robota . . . . .	182
Moduły Bluetooth . . . . .	164	Podsumowanie . . . . .	184
Podsumowanie użycia pinów dla modułów . . . . .	165	Ćwiczenia . . . . .	184
Planowanie, co i gdzie dodać . . . . .	165	Materiały uzupełniające . . . . .	184
Plan umiejscowienia Bluetooth i IMU . . . . .	165		

**8****Mierzenie odległości w celu wykrywania obiektów za pomocą Pico . . . . . 187**

Wymagania techniczne . . . . .	188	Rozwiązywanie problemów . . . . .	197
Na czym polega wykrywanie odległości . . . . .	188	Podłączanie dwóch czujników odległości . . . . .	198
Lutowanie listew pinowych		Rozwiązywanie problemów . . . . .	199
i mocowanie ich do robota . . . . .	190	Budowanie unikacza ścian z użyciem	
Lutowanie listew pinowych . . . . .	190	Raspberry Pi Pico . . . . .	199
Montaż czujników . . . . .	191	Przygotowywanie biblioteki robota . . . . .	200
Wprowadzenie do komunikacji I2C . . . . .	191	Zasada postępowania w omijaniu ścian . . . . .	200
Komunikacja z pojedynczym czujnikiem odległości . . . . .	192	Kod do unikania ścian z czujnikami odległości . . . . .	201
Podłączanie czujników odległości . . . . .	193	Rozwiązywanie problemów . . . . .	203
Teoria działania VL53LX . . . . .	195	Podsumowanie . . . . .	204
Odczyt w CircuitPythonie		Ćwiczenia . . . . .	204
z pojedynczego czujnika odległości . . . . .	196	Materiały uzupełniające . . . . .	204

**9****Zdalne sterowanie robotem Raspberry Pi Pico z użyciem Bluetooth LE . . . . . 207**

Wymagania techniczne . . . . .	207	Graficzne prezentowanie danych . . . . .	220
Możliwości bezprzewodowego połączenia z robotem . . . . .	208	Sterowanie robotem za pomocą Bluetooth LE . . . . .	222
Podłączenie Bluetooth LE do Raspberry Pi Pico . . . . .	211	Wyświetlamy to, co dostaliśmy . . . . .	222
Dodawanie modułu Bluetooth do robota . . . . .	212	Tryb sterowania przyciskami . . . . .	223
Podłączanie płytki rozszerzeniowej		Dekodowanie pakietów sterujących	
Bluetooth do Raspberry Pi Pico . . . . .	213	z przycisków w celu sterowania robotem . . . . .	224
Łączenie się z modułem Bluefruit LE		Rozwiązywanie problemów . . . . .	226
za pośrednictwem UART . . . . .	215	Podsumowanie . . . . .	226
Łączenie ze smartfonem . . . . .	215	Ćwiczenia . . . . .	227
Rozwiązywanie problemów z modułem Bluefruit . . . . .	218	Materiały uzupełniające . . . . .	227
Przesyłanie sygnału z czujnika			
Bluetooth LE do Raspberry Pi Pico . . . . .	218		

**Część 3: Dodawanie kolejnych zachowań robotycznych do Raspberry Pi Pico****10****Użycie algorytmu PID do podążania wzdłuż ścian . . . . . 231**

Wymagania techniczne . . . . .	231	Mierzenie odległości z regulacją proporcjonalną . . . . .	234
Wprowadzenie do algorytmu PID . . . . .	232	Rozwiązywanie problemów . . . . .	236
Sterowanie i informacja zwrotna . . . . .	232	Użycie całki do postępowania	
Sterowanie dwustawne . . . . .	233	z małymi odległościami . . . . .	236

Postępowanie z oscylacjami za pomocą pochodnej	241	Komponent związany ze wzmocnieniem	250
Użycie PID do podążania wzdłuż ścian	244	Regulacja współczynnika różniczkowania	253
Zmiana umiejscowienia czujnika	245	Regulacja współczynnika całkowania	256
Kod do podążania wzdłuż ścian	246	Końcowe uwagi dotyczące dostrajania	257
Rozwiązywanie problemów	248	Podsumowanie	257
Dostrajanie PID – wykorzystanie		Ćwiczenia	258
wykresów do dostrajania PID	248	Materiały uzupełniające	258
Sterowanie prędkością silnika	249		

## 11

### **Sterowanie ruchem z użyciem enkoderów przez Raspberry Pi Pico** ..... 259

Wymagania techniczne	259	Kod sterujący prędkością	269
Konwersja zliczeń enkoderów na prędkość	260	Strojenie regulatora prędkości PID	272
Luźne śrubki i nakrętki	260	Pokonywanie podanej odległości	273
Geometria koła robota	260	Zasada działania	273
Geometria enkodera	261	Kod do sterowania odległością i prędkością	275
Pomiar prędkości poszczególnych kół	261	Podsumowanie	279
Naprawienie zakłóceń enkodera	266	Ćwiczenia	279
Użycie PID do utrzymywania prędkości i linii prostej	267	Materiały uzupełniające	279
System sterowania prędkością	267		

## 12

### **Wykrywanie orientacji za pomocą IMU i Raspberry Pi Pico** ..... 281

Wymagania techniczne	281	Zachowanie „zawsze kieruj się ku północy”	294
Co to jest IMU i jak go wybrać	282	Kod w CircuitPythonie dla	
Komponenty IMU	282	zachowania „zawsze kieruj się ku północy”	295
Wybór modułu IMU	286	Rozwiązywanie problemów	297
Podłączenie IMU do robota	287	Zachowanie powodujące wykonanie	
Przygotowanie BNO055	288	określonego skrzętu	298
Mocowanie BNO055	288	Podsumowanie	300
Łączenie BNO055 z Raspberry Pi Pico	290	Ćwiczenia	300
Konfiguracja oprogramowania i łączenie się	291	Materiały uzupełniające	300
Rozwiązywanie problemów	291		
Kalibracja i uzyskiwanie odczytów	292		
Kod do kalibracji	292		
Proces kalibracji	293		

**13****Określanie położenia za pomocą metody Monte Carlo ..... 301**

Wymagania techniczne.....	302	Ustawianie pozy.....	316
Tworzenie obszaru treningowego dla naszego robota	302	Wyświetlanie póz.....	317
Co zrobimy.....	302	Poruszanie się z unikaniem kolizji.....	318
Jak wykonamy arenę.....	304	Poruszanie pozami z użyciem enkoderów.....	323
Wskazówki dotyczące cięcia.....	305	Prawdopodobieństwa ruchu póz.....	327
Modelowanie przestrzeni.....	305	Lokalizowanie za pomocą Monte Carlo.....	330
Reprezentowanie areny i pozycji		Generowanie wagi póz na podstawie pozycji.....	331
robota w postaci liczb.....	306	Repróbkowanie póz.....	332
Obsługa areny z poziomu robota.....	309	Inkorporacja czujników odległości.....	334
Biblioteka Bleak.....	310	Tuning i udoskonalanie modelu Monte Carlo.....	341
Tworzenie biblioteki opakowującej Bluetooth LE.....	311	Podsumowanie.....	342
Wyświetlanie danych z robota na		Ćwiczenia.....	343
ekranie komputera.....	313	Materiały uzupełniające.....	343
Używanie czujników do śledzenia pozy względnej.....	316		

**14****Kontynuujemy podróż – kolejny robot..... 345**

Wymagania techniczne.....	345	Rozszerzanie kodu i zachowań.....	357
Podsumowanie tego, czego		Planowanie kolejnego robota.....	358
nauczyliśmy się z tej książki.....	346	Postać, kształt i podwozie.....	359
Podstawy robotyki z Raspberry Pi Pico.....	346	Elektronika i czujniki.....	361
Rozszerzanie robota Raspberry Pi		Kod i zachowanie.....	362
Pico za pomocą czujników.....	347	Sugestia dalszych obszarów nauki.....	363
Napisanie kodu zachowań		Elektronika.....	363
Raspberry Pi Pico w języku Circuit Python.....	348	Projekt i wytwarzanie.....	364
Planowanie rozszerzeń naszego robota.....	349	Zawody robotów i społeczności	
Czujniki do dodania.....	349	w dziedzinie robotyki.....	365
Interakcja z robotem.....	351	Systemy i kod w robotyce.....	368
Podwozie i rozszerzenia postaci.....	352	Podsumowanie.....	369
Rozszerzenia elektroniki.....	353	Ćwiczenia.....	369
Jakie wyjścia można dodać.....	356	Materiały uzupełniające.....	370

**Indeks ..... 371**