



# Politechnika Warszawska

## Wydział Fizyki

# Praca dyplomowa inżynierska

na kierunku Fizyka Techniczna  
w specjalności materiały i nanostruktury

## Stanowisko testowo-rozwojowe dla mikrokontrolerów 32-bitowych

numer pracy według wydziałowej ewidencji prac: {liczba}

Aleksandra Gierad

Numer albumu: 319222

promotor:  
dr inż. Dariusz Tefelski

WARSZAWA 2025



## Streszczenie

---

**Tytuł pracy:** Stanowisko testowo-rozwojowe dla mikrokontrolerów 32-bitowych

Celem pracy inżynierskiej było zaprojektowanie płytki drukowanej do celów dydaktycznych z wykorzystaniem nowoczesnych mikrokontrolerów RP2040. Są to 32-bitowe układy sterujące z rodziny ARM Cortex Mo+, wykorzystywane w modułach Raspberry Pi Pico. W procesie projektowania poza płytką główną, uwzględnione zostały elementy peryferyjne, których dobór motywowany był dalszym przeznaczeniem dydaktycznym całego układu.

Do realizacji projektu wykorzystane zostało oprogramowanie KiCad 8.o. Kolejne etapy pracy uwzględniały utworzenie schematu oraz stworzenie układu płytki PCB wraz ze ścieżkami miedzianymi pomiędzy poszczególnymi elementami. Skończony projekt został wysłany do zakładu produkcyjnego, który zrealizował płytkę w kilku egzemplarzach.

Aspekt dydaktyczny zwięźczyło zaplanowanie i utworzenie zbioru instrukcji pozwalających na kompleksowe wykorzystanie płytki w fizyce eksperymentalnej. Do sterowania mikrokontrolerem użyto języka MicroPython.

*Słowa kluczowe:*

*Raspberry Pi Pico, RP2040, płytka drukowana, eksperyment w fizyce*

{podpis opiekuna naukowego}

{podpis studenta}

## Abstract

---

**Thesis title:** Testing-evaluation stand for 32-bit microcontrollers

The aim of this engineering thesis was to design a printed circuit board (PCB) for educational purposes, utilizing modern RP2040 microcontrollers. These are 32-bit control units from the ARM Cortex Mo+ family, commonly used in Raspberry Pi Pico modules. In the design process, in addition to the main PCB, peripheral components were also considered, selected based on the intended educational application of the entire system.

KiCad 8.0 software was used to carry out the project. The subsequent stages included creating the schematic and designing the PCB layout, with copper traces connecting the various components. The finished design was sent to a manufacturing facility, which produced several copies of the board.

The educational aspect was further addressed by preparing and creating a set of instructions enabling comprehensive use of the board in experimental physics. MicroPython was used to control the microcontroller.

### *Keywords*

*Raspberry Pi Pico, RP2040, printed board*

{supervisor's signature}

{student's signature}

## Oświadczenie o samodzielności wykonania pracy

---



# Politechnika Warszawska

Aleksandra Gierad

319222

Fizyka Techniczna

### Oświadczenie

Świadomy/-a odpowiedzialności karnej za składanie fałszywych zeznań oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie, pod opieką kierującego pracą dyplomową.

Jednocześnie oświadczam, że:

- niniejsza praca dyplomowa nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym,
- niniejsza praca dyplomowa nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem/-am w sposób niedozwolony,
- niniejsza praca dyplomowa nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadawaniem dyplomów lub tytułów zawodowych,
- wszystkie informacje umieszczone w niniejszej pracy, uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami,
- znam regulacje prawne Politechniki Warszawskiej w sprawie zarządzania prawami autorskimi i prawami pokrewnymi, prawami własności przemysłowej oraz zasadami komercjalizacji.

Warszawa, dnia .....

{czytelny podpis dyplomanta}



## Oświadczenie o udzieleniu Uczelni licencji do pracy

---



# Politechnika Warszawska

Aleksandra Gierad

319222

Fizyka Techniczna

### **Oświadczenie studenta w przedmiocie udzielenia licencji Politechnice Warszawskiej**

Oświadczam, że jako autor pracy dyplomowej pt. „Stanowisko testowo-rozwojowe dla mikrokontrolerów 32-bitowych” udzielam Politechnice Warszawskiej nieodpłatnej licencji na niewyłączne, nieograniczone w czasie, umieszczenie pracy dyplomowej w elektronicznych bazach danych oraz udostępnianie pracy dyplomowej w zamkniętym systemie bibliotecznym Politechniki Warszawskiej osobom zainteresowanym.

Licencja na udostępnienie pracy dyplomowej nie obejmuje wyrażenia zgody na wykorzystywanie pracy dyplomowej na żadnym innym polu eksploatacji, w szczególności kopiowania pracy dyplomowej w całości lub w części, utrwalania w innej formie czy zwielokrotniania.

Warszawa, dnia .....

{czytelny podpis dyplomanta}





# Spis treści

<b>Rozdział 1. Wstęp</b>	11
<b>Rozdział 2. Część teoretyczna</b>	15
2.1. Interfejsy i funkcje wyprowadzeń	15
2.1.1. GPIO	18
2.1.2. SPI	18
2.1.3. I2C	18
2.1.4. UART	18
2.2. Dobór parametrów elementów pasywnych	18
<b>Rozdział 3. Część projektowa</b>	19
3.1. Wyposażenie płytki	19
3.2. Schemat układu	19
<b>Rozdział 4. Dydaktyka</b>	21
4.1. Instrukcja 1	21
4.2. Instrukcja 2	21
4.3. Instrukcja 3	21
4.4. Instrukcja 4	21
4.5. Instrukcja 5	21
4.6. Instrukcja 6	21
4.7. Instrukcja 7	21
4.8. Instrukcja 8	21
4.9. Instrukcja 9	21
4.10. Instrukcja 10	21
<b>Rozdział 5. Wnioski i podsumowanie</b>	23
<b>Bibliografia</b>	25
<b>Spis rysunków</b>	27
<b>Spis tabel</b>	29
<b>Dodatek A. Kod programu</b>	31
<b>Dodatek B. Wykaz symboli i skrótów</b>	33

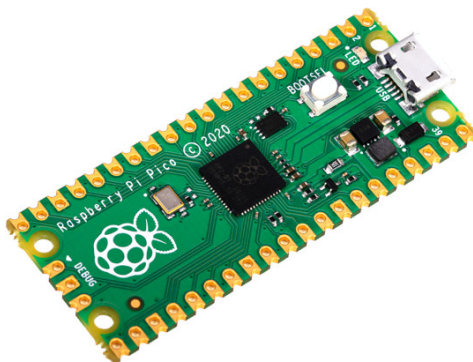


## Rozdział 1

# Wstęp

We współczesnej fizyce eksperymentalnej zaplecze elektroniczne stało się integralnym i nieodzownym elementem. Wśród technologii cyfrowych przodują mikrokontrolery, które umożliwiają sterowanie eksperymentem i automatyzację procesu akwizycji danych pomiarowych. Pozwalają na pobór danych ze zintegrowanych czujników i przetwarzanie ich w czasie rzeczywistym. Są precyzyjnym narzędziem do sterowania pracą innych urządzeń, między innymi silnikami krokowymi czy szeroko pojętymi serwomechanizmami. Z uwagi na wszechstronność i niski pobór mocy znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach.

Efektywnie prosperująca branża elektroniczna zapewnia coraz to nowsze rozwiązania w zakresie mikrokontrolerów. Chętnie i powszechnie używany ATmega wykorzystywany przez platformę Arduino zapewnia łatwość użycia, dostępność komponentów ale także wsparcie szerokiej społeczności. Jednakże jego pamięć i zasoby obliczeniowe są ograniczone. Mikrokontrolery ATmega wykorzystują 8-bitową architekturę, co definiuje sposób przetwarzania informacji i komunikacji z urządzeniami peryferyjnymi. Są optymalnym rozwiązaniem dla nieskomplikowanych rozwiązań projektowych oraz dla początkujących adeptów elektroniki. W 2021 roku na rynku komercyjnym zaprezentowany został nowy mikrokontroler *Raspberry Pi Pico* ukazany na rysunku 1.1 a zaprojektowany przez Raspberry Pi Foundation.



Rys. 1.1: Moduł Raspberry Pi Pico

(<https://botland.com.pl/moduly-i-zestawy-do-raspberry-pi-pico.html>)

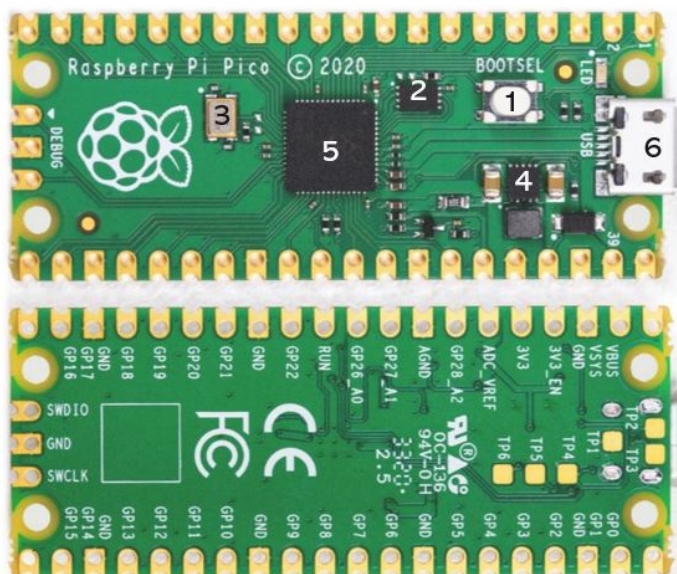
Dzięki 32-bitowej architekturze opartej na rdzeniu ARM Cortex-Mo+ zapewnia lepszą moc obliczeniową niż mikrokontrolery 8-bitowe. Dodatkowo wbudowane dwa rdzenie CPU umożliwiają równoległe przetwarzanie poleceń, zwiększając efektywność i pozwalając na realizację rozbudowanych projektów. Istotnym unowocześnieniem jest taktowanie zegara na poziomie 133 MHz, czyli ponad 8 razy szybsze niż w przypadku ATmega. Zapewnia dzięki temu znacznie szybszą i wydajniejszą pracę układu. Kolejnym parametrem przemawiającym na korzyść Raspberry Pi Pico jest pamięć służąca do przechowywania danych nawet po wyłączeniu zasilania, czyli nieulotna pamięć flash o pojemności 2 MB. Pozwala na przechowywanie obszernego kodu programu i ustawień systemowych. Kompleksowe porównanie mikrokontrolerów z rodziny Arduino i Raspberry Pi Pico zebrane zostało w tabeli 1.1.

Cecha	Raspberry Pi Pico	Arduino (AtMega32)
Procesor	Dual-core ARM Cortex Mo+	AVR
Architektura	32-bit ARM	8-bit AVR
Pamięć flash	2 MB	32 KB
RAM	264 KB SRAM	2 KB SRAM
Wejścia/Wyjścia GPIO	26 pinów	23 piny
Częstotliwość zegara	133 MHz	16 MHz
Piny PWM	16 kanałów	6 kanałów
Języki programowania	MicroPython, C/C++, Arduino IDE	C/C++, Arduino IDE

Tab. 1.1: Porównanie Rasoberry Pi Pico z ATmega32.

Na architekturę mikrokontrolera składa się wiele elementów peryferyjnych. Moduł Raspberry Pi Pico wyposażony jest w następujące podzespoły zilustrowane na rysunku 1.2:

- (1) - przycisk funkcyjny
- (2) - moduł pamięci sRAM
- (3) - kwarc zegarowy
- (4) - układ pamięci flash
- (5) - procesor RP2040 ARM Cortex Mo+
- (6) - gniazdo microUSB
- 43 złącza.



Rys. 1.2: Budowa Raspberry Pi Pico

Wśród złączy wyróżnić można x26 pinów GPIO, które dzieli się na 2x SPI, 2x I2C, 2x UART, 3x ADC 12-bit, 16x PWM. Pozostałe wyprowadzenia IO przeznaczone są do obsługi niestandardowych urządzeń peryferyjnych. Wszystkie wyprowadzenia wraz z ilością podane zostały w tabeli 2.1. Gniazdo microUSB służy do komunikacji oraz zasilania płytki napięciem 3,3V.

GND	8		
GPIO	26	SPI	2
		I2C	2
		UART	2
		ADC	3
		PWM	16
IO (PIO)	8		
Piny sterujące	2	SWDIO	1
		SWCLK	1

Tab. 1.2: Tabela przedstawiająca rodzaje i ilość pinów w Raspberry Pi Pico

Ze względu na szereg unowocześnień a także brak kompleksowych płytek z możliwością użycia do celów dydaktycznych, zasadnym jest utworzenie stanowiska wykorzystującego Raspberry Pi Pico. Główną motywacją jest stworzenie narzędzia rozwojowego dla przyszłych studentów Politechniki Warszawskiej, które posłuży jako baza dydaktyczna do nauki obsługi mikrokontrolerów i programowania w MicroPythonie.

Główne założenia pracy polegają na stworzeniu kompleksowego projektu płytki PCB w oprogramowaniu KiCad 8.0. Koncepcja zakłada użycie dwóch mikrokontrolerów w taki sposób, aby jeden z nich pełnił rolę urządzenia monitorującego i analizującego pracę drugiego. Ponadto w projekcie uwzględnione zostały podzespoły takie jak wyświetlacze 7-segmentowe, wyświetlacze alfanumeryczne i graficzne, przetworniki A/C, C/A czy sterowniki silników krokowych i inne.

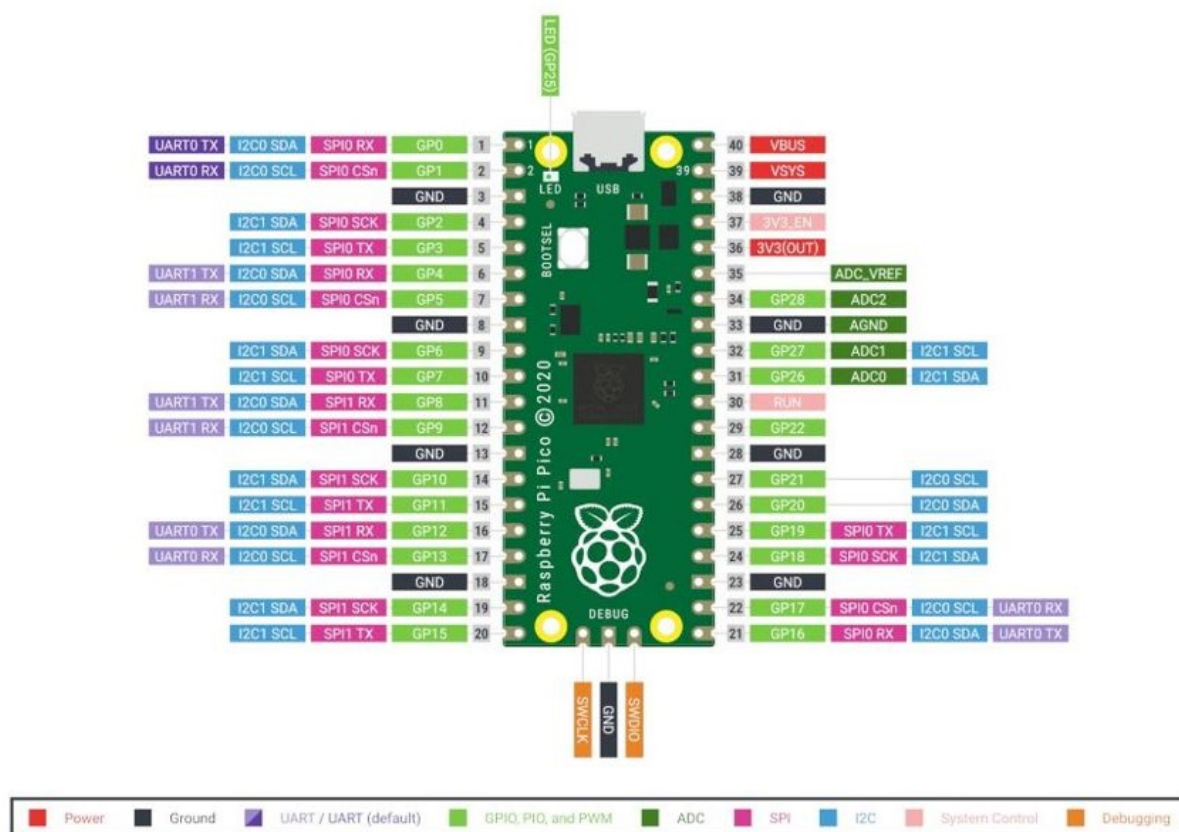
Na podstawie stanowiska testowo-rozwojowego powstały instrukcje do zajęć laboratoryjnych przewidujące wieloaspektowe wykorzystanie wyprodukowanych płytek. Cykl dydaktyczny obejmuje zadania z zakresu GPIO, magistral SPI, I2C, portu szeregowego, PIO, przerwań, obsługi wyświetlacza, liczników i obsługi kart SD/MMC w nawiązaniu do wykorzystania ich w fizyce eksperymentalnej.

## Rozdział 2

# Część teoretyczna

### 2.1. Interfejsy i funkcje wyprowadzeń

Interfejsy i wyprowadzenia pozwalają na komunikację z układami peryferyjnymi, czyli zapewniają jedną z podstawowych aspektów wykorzystania mikrokontrolera. Moduł Raspberry Pi Pico posiada szereg wyprowadzeń, których schematyczny układ przedstawiony został na rysunku 2.1. Rodzaj pinów jest bezpośrednio uwarunkowany przez procesor RP2040 wbudowany w module. Funkcjonalności poszczególnych wyprowadzeń zostały zaczerpnięte z noty katalogowej procesora "RP2040 Datasheet A microcontroller by Raspberry Pi" i przedstawione w tabeli 2.1.



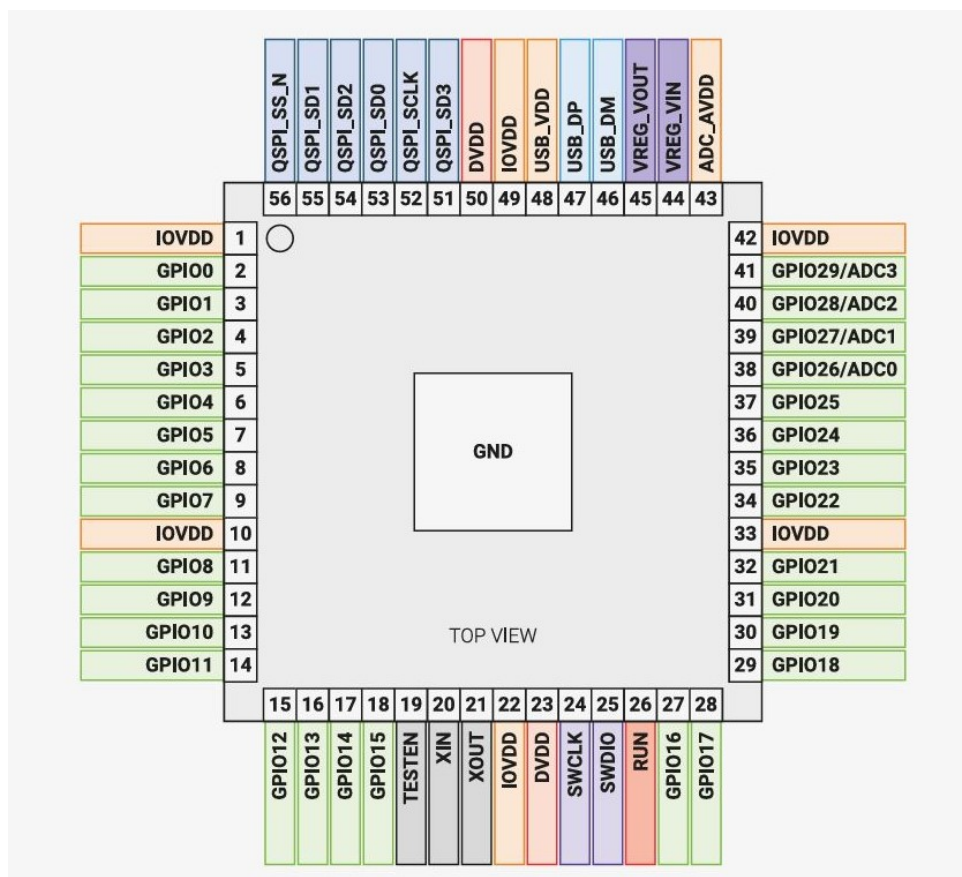
Rys. 2.1: Moduł Raspberry Pi Pico

(<https://botland.com.pl/moduly-i-zestawy-do-raspberry-pi-pico/18767-raspberry-pi-pico-rp2040-arm-cortex-m0-o617588405587.html>)

Nazwa RP2040 jest kombinacją pochodzącą od charakterystyki procesora.

- RP - jest skrótem fundacji Raspberry Pi
- 2 - liczbą rdzeni, które posiada procesor
- o - to typ rdzenia Mo+
- 4 - wartością zaokrągloną w dół z  $\log_2(RAM/16kB)$
- o - oznacza brak wbudowanej pamięci nieulotnej

Mikrokontroler posiada obudowę QFN-56. Jego schemat zawierający ponumerowane rodzaje wyprowadzeń widziany z góry przedstawiony został na rysunku 2.2.



Rys. 2.2: Procesor RP2040 (RP2040 Datasheet - A microcontroller by Raspberry Pi article)



GPIOx	Uniwersalne wejście/wyjście cyfrowe. RP2040 może połączyć jedno z wielu wewnętrznych peryferiów z każdym GPIO lub sterować GPIO bezpośrednio z poziomu oprogramowania.
GPIOX/ADCy	Uniwersalne wejście/wyjście cyfrowe z funkcją przetwornika analogowo-cyfrowego. Przetwornik ADC RP2040 posiada analogowy multiplexer, który może wybrać dowolny z tych pinów i zmierzyć napięcie.
QSPIx	Interfejs do urządzenia SPI, Dual-SPI lub Quad-SPI flash z obsługą execute-in-place. Piny te mogą być również używane jako sterowane programowo GPIO, jeśli nie są wymagane do dostępu do pamięci flash.
USB_DM i USB_DP	Kontroler USB obsługujący urządzenia Full Speed oraz Full/Low Speed. Każdy pin wymaga terminacji rezystorem 27Ω, ale wewnętrznie dostarczane są podciągnięcia i podciągnięcia do masy.
XIN i XOUT	Podłączenie kryształu do oscylatora RP2040. XIN może być również używany jako wejście zegara CMOS o pojedynczym zakończeniu, jeśli XOUT jest odłączony. Bootloader USB wymaga kryształu 12 MHz lub wejścia zegarowego 12 MHz.
RUN	Globalny asynchroniczny pin resetu. Reset następuje po podaniu stanu niskiego, działa po podaniu stanu wysokiego. Jeśli nie jest wymagany reset zewnętrzny, pin może być podłączony do IOVDD.
SWCLK i SWDIO	Dostęp do wewnętrznej magistrali debugowania Serial Wire Debug multi-drop. Zapewnia dostęp debugowania do obu procesorów i może być używany do pobierania kodu.
TESTEN	Pin trybu testowego fabrycznego. Należy podłączyć do GND.
GND	Pojedyncze zewnętrzne połączenie z masą, połączone z wieloma wewnętrznymi padami masy na układzie RP2040.
IOVDD	Zasilanie dla cyfrowych GPIO, nominalne napięcie od 1,8V do 3,3V.
USB_VDD	Zasilanie wewnętrznego interfejsu USB Full Speed PHY, nominalne napięcie 3,3V.
ADC_AVDD	Zasilanie dla przetwornika analogowo-cyfrowego, nominalne napięcie 3,3V.
VREG_VIN	Wejście zasilania dla wewnętrznego regulatora napięcia rdzenia, nominalne napięcie od 1,8V do 3,3V.
VREG_VOUT	Wyjście zasilania dla wewnętrznego regulatora napięcia rdzenia, nominalne napięcie 1,1V, maksymalny prąd 100mA.
DVDD	Zasilanie cyfrowe, nominalne napięcie 1,1V. Może być podłączone do VREG_VOUT lub innego zasilania na poziomie płyty głównej.

Tab. 2.1: Funkcje pinów w procesorze RP2040.

### 2.1.1. GPIO

### 2.1.2. SPI

### 2.1.3. I2C

### 2.1.4. UART

## 2.2. Dobór parametrów elementów pasywnych

Dobór parametrów elementów pasywnych opiera się na teoretycznej fizyce elektronicznej i obowiązujących w niej zasadach. Do elementów pasywnych zaliczają się takie komponenty jak oporniki i kondensatory. Dobór rezystancji w przypadku oporników ograniczających prąd dochodzący do diody wykorzystane zostało prawo Ohma, wyrażające się wzorem 2.1.

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.1)$$

Jego rozwinięcie 2.2 pozwala na powiązanie napięcia zasilającego płytkę, spadku napięcia na diodzie i natężenia prądu.

$$R = \frac{U_{zasilania} - U_{diody}}{I_{diody}} \quad (2.2)$$

W projekcie użyte zostały diody w kolorze zielonym i czerwonym a ich spadki napięcia przedstawione zostały w tabeli 2.2.

kolor diody	spadek napięcia
czerwony	1,2V - 2,1V
zielony	2,0V - 2,8V

Tab. 2.2: Spadek napięcia na diodach.

## Rozdział 3

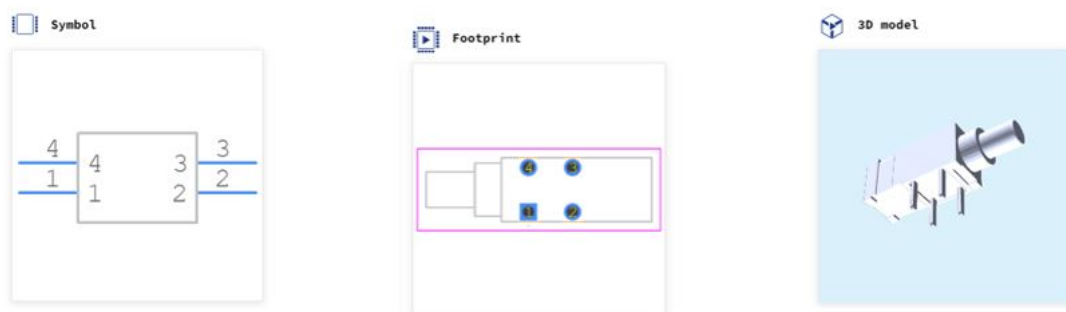
# Część projektowa

### 3.1. Wyposażenie płytki

Płytką została wyposażona w następujące komponenty:

- Zegar czasu rzeczywistego PCF8563 z gniazdem na baterię CR1616
- Pamięć EEPROM AT24C02
- Czujnik temperatury DS18B20
- Gniazdo kart micro SD
- 8 przycisków
- 8 diod LED
- diodę RGB
- 2 potencjometry analogowe
- Buzzer
- Wyświetlacz 4x7 segmentowy
- Wyświetlacz LCD HD44780 2x16 znaków

### 3.2. Schemat układu



Rys. 3.1



## **Rozdział 4**

# **Dydaktyka**

### **4.1. Instrukcja 1**

### **4.2. Instrukcja 2**

### **4.3. Instrukcja 3**

### **4.4. Instrukcja 4**

### **4.5. Instrukcja 5**

### **4.6. Instrukcja 6**

### **4.7. Instrukcja 7**

### **4.8. Instrukcja 8**

### **4.9. Instrukcja 9**

### **4.10. Instrukcja 10**



## **Rozdział 5**

### **Wnioski i podsumowanie**





## **Bibliografia**



# Spis rysunków

1.1	Raspberry Pi Pico . . . . .	11
1.2	Raspberry Pi Pico . . . . .	13
2.1	Raspberry Pi Pico . . . . .	15
2.2	Procesor RP2040 . . . . .	16



# Spis tabel

1.1	Porównanie Rasoberry Pi Pico z ATmega32. . . . .	12
1.2	Tabela przedstawiająca rodzaje i ilość pinów w Raspberry Pi Pico . . . . .	13
2.1	Funkcje pinów w procesorze RP2040. . . . .	17
2.2	Spadek napięcia na diodach. . . . .	18



## **Dodatek A**

### **Kod programu**

Kod.





## **Dodatek B**

### **Wykaz symboli i skrótów**

1. PCB (Printed Circuit Board) - płytko drukowana
2. CPU (Central Processing Unit) - to centralna jednostka przetwarzania
3. GPIO (General-Purpose Input/Output) – uniwersalne wejścia/wyjścia cyfrowe
4. SPI (Serial Peripheral Interface) – szeregowy interfejs komunikacyjny
5. I2C (Inter-Integrated Circuit) – dwukanałowy interfejs komunikacyjny
6. UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) – asynchroniczny interfejs komunikacyjny
7. ADC (Analog-to-Digital Converter) – przetwornik analogowo-cyfrowy
8. PWM (Pulse-Width Modulation) – modulacja szerokości impulsu