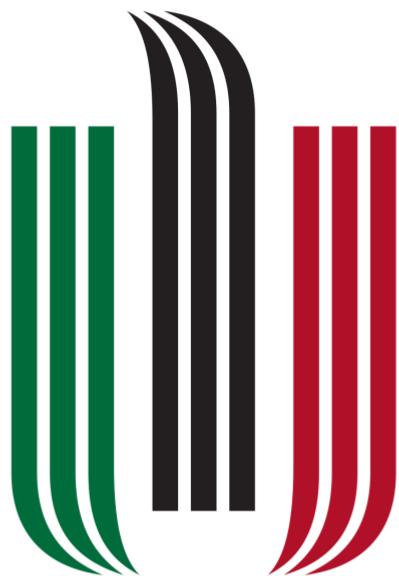


**Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji**



A G H

**Dokumentacja końcowa projektu „Kompass elektroniczny z
odczytem na ekranie graficznym” w ramach przedmiotu Design
Laboratory**

Jan Wycisk, Filip Żurek
Elektronika i Telekomunikacja

Kraków, 23.01.2025 r.

Spis treści

1.	OPIS I CEL PROJEKTU.....	4
2.	PRZEGŁĄD TECHNOLOGII.....	5
2.1.	TECHNOLOGIE SENSORÓW	5
2.2.	MIKROKONTROLERY	6
2.3.	WYŚWIETLACZE GRAFICZNE.....	7
2.4.	ZASILANIE	7
2.5.	PRZYKŁADY PODOBNYCH ROZWIĄZAŃ	8
3.	KOMPONENTY SYSTEMU	8
4.	MODUŁ MAGNETOMETRU I AKCELEROMETRU.....	8
4.1.	MAGNETOMETR QMC5883L	9
4.2.	MAGNETOMETR HMC5883L	9
4.3.	MAGNETOMETR MAG3110	10
4.4.	MAGNETOMETR Z AKCELEROMETREM MPU925	10
4.5.	MAGNETOMETR Z AKCELEROMETREM LSM303DLHC	11
4.6.	AKCELEROMETR MPU6050	11
4.7.	AKCELEROMETR ADXL345	12
5.	MIKROKONTROLER.....	12
5.1.	ARDUINO NANO EVERY	12
5.2.	ESP-WROOM-32.....	13
5.3.	BLUEPILL STM32F103C8T6.....	14
5.4.	RASPBERRY PI PICO 2	15
5.5.	TEENSY 3.2.....	15
6.	WYŚWIETLACZ GRAFICZNY	16
6.1.	WYŚWIETLACZ OLED - WAVESHARE 24777.....	16
6.2.	WYŚWIETLACZ LCD - WAVESHARE 13892.....	17
6.3.	WYŚWIETLACZ E-PAPER – WAVESHARE 12955	17
6.4.	DOTYKOWY WYŚWIETLACZ LCD	18
7.	ZASILANIE.....	18
7.1.	OGNIWA ALKALICZNE.....	19
7.2.	OGNIWA LITOWO – JONOWE.....	19
7.3.	POWERBANK.....	20
7.4.	AKUMULATORY LITOWO – POLIMEROWE.....	20
8.	STEROWANIE.....	21
9.	OBUDOWA	22
10.	OPROGRAMOWANIE	22
11.	PRZEGŁĄD ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ KOMPASÓW ELEKTRONICZNYCH	22
12.	PROPOZYCJA ROZWIĄZANIA	24

13.	DOBÓR KONKRETYCH KOMPONENTÓW	25
13.1.	MAGNETOMETR	25
13.2.	AKCELEROMETR	25
13.3.	MIKROKONTROLER	26
13.4.	WYŚWIETLACZ GRAFICZNY	27
13.5.	ZASILANIE	28
13.5.1.	Akumulator	28
13.5.2.	Ładowarka	28
13.5.3.	Przetwornica step-down	29
13.5.4.	Koszyk na akumulator	30
13.6.	STEROWANIE	30
14.	OPIS WYKORZYSTYWANYCH ELEMENTÓW	31
14.1.	ZASILANIE I ZARZĄDZANIE ENERGIĄ	31
14.2.	MIKROKONTROLER ESP32	31
14.3.	CZUJNIKI	31
14.4.	MODUŁ WYŚWIETLANIA	31
14.5.	ELEMENTY DODATKOWE	31
15.	BILANS PRĄDU	32
16.	OPIS REALIZACJI WYBRANEGO ROZWIĄZANIA	32
17.	WYKONANIE PROTOTYPU	33
18.	LUTOWANIE UKŁADU	34
19.	OBUDOWA	35
20.	EWALUACJA PROJEKTU	36
20.1.	KOMPONENTY	36
20.2.	ROZMIAR	36
20.3.	MATERIAŁY	36
20.4.	OBUDOWA	36
21.	PODSUMOWANIE	37
22.	BIBLIOGRAFIA	38

1. Opis i cel projektu

W dzisiejszym dynamicznie rozwijającym się świecie, z każdej strony otaczają nas urządzenia elektroniczne. Technologia stała się nierozerwalnym elementem naszego życia, gdyż staramy się wykorzystać ją zarówno do poprawy jego komfortu, jak i do ułatwienia wykonywania czynności dnia codziennego. Inżynierowie wraz z projektantami dokładają więc wszelkich starań, aby wszystkie otaczające nas urządzenia stawały się coraz bardziej nowoczesne, wyposażając je w różnorodne czujniki umożliwiające pomiary wszelakich wielkości oraz zjawisk, czy też coraz to większe wyświetlacze. Niemniej jednak, wprowadzają oni przy tym także wiele zbędnych, z punktu działania układu, dodatków, które mają na celu zainteresowanie użytkownika oraz skupienie jego uwagi. Proces ten nie ominął także, jakby mogłoby się wydawać, „archaicznych” urządzeń, użytkowanych przez ludzkość od wieków. Elektronizacja nie ominęła również kompasu, który wydaje się niezawodnym dzięki swojej prostocie. Oczywiście tradycyjny kompas nie stracił swojego zastosowania i w wielu przypadkach jego posiadanie lub umiejętność wykorzystania zasady jego działania jest niezbędna nawet do przeżycia. Powstanie kompasu elektronicznego znacząco rozwinęło jednak jego możliwości. W obecnych czasach, takie urządzenie dostarcza nam, oprócz kierunku geograficznego, mnóstwo innych danych. Dziś, kompas informuje nas również o azymucie, wysokości nad poziomem morza, prędkości poruszania się, aktualnej pozycji GPS¹ czy chociażby lokalnym czasie, a to zaledwie kilka przykładów z szerokiej gamy jego potencjału.

Nasz projekt zakłada zaprojektowanie oraz stworzenie kompaktowego, przenośnego kompasu elektronicznego, który umożliwi precyzyjne wyznaczenie kierunków geograficznych. Urządzenie zostanie wyposażone w graficzny wyświetlacz, przy pomocy którego użytkownik końcowy będzie w stanie zobaczyć aktualny kierunek, wskazanie północy oraz dodatkowe informacje. Dzięki zastosowaniu magnetometru i mikrokontrolera, urządzenie będzie mogło przetwarzać dane w czasie rzeczywistym oraz automatycznie kalibrować się w różnych środowiskach. Oczywiście realizacja tego projektu nie obędzie się bez wykorzystania zewnętrznego źródła zasilania co umożliwi jego pracę w każdym miejscu zgodnie z założeniem jego przeznaczenia.

Projekt ten jest skierowany do użytkowników, którzy potrzebują precyzyjnych wskazań kierunkowych, takich jak osoby uprawiające turystykę, nawigację morską, entuzjastów

¹ GPS (ang. Global Positioning System) – system nawigacji satelitarnej.

outdoorowych aktywności, czy chociażby wojska, gdzie nawigacja w terenie odgrywa kluczową rolę. Zastosowanie wyświetlacza graficznego zwiększa czytelność i intuicyjność obsługi, umożliwiając szybki odczyt danych nawet w trudnych warunkach oświetleniowych.

W trakcie przeglądu literatury skupimy się na możliwościach wyboru elementów potrzebnych do realizacji takiego urządzenia oraz przeanalizujemy już istniejące na rynku implementacje takiego projektu. Praca ta ma na celu stworzenie fundamentu pod dalsze etapy realizacji projektu oraz wyznaczenie jego kierunku.

Celem projektu jest:

1. Opracowanie projektu przenośnego kompasu elektronicznego, który będzie mógł być używany w różnych warunkach terenowych.
2. Zastosowanie wyświetlacza graficznego w celu przedstawienia informacji w czytelny i intuicyjny sposób.
3. Analiza dostępnych technologii i komponentów, takich jak magnetometry i mikrokontrolery, aby wybrać optymalne rozwiązania do realizacji projektu.
4. Opracowanie algorytmów kalibracyjnych i przetwarzania danych, które zapewnią wiarygodne i stabilne działanie kompasu.
5. Zbudowanie prototypu, który spełnia założenia projektowe oraz realizuje założoną funkcjonalność.

Realizacja tego projektu umożliwi lepsze zrozumienie technologii magnetometrów, ich kalibracji oraz zademonstruje potencjalne zastosowanie wyświetlaczy graficznych w przenośnych urządzeniach nawigacyjnych.

2. Przegląd technologii

Technologia ukrywająca się za kompasem elektronicznym istotnie różni się od tej stojącej za kompasem magnetycznym. Z upływem lat obserwujemy ciągły rozwój tej techniki, odzwierciedla się to w zwiększeniu precyzji i wszechstronności urządzeń, które z niej korzystają. Kompasy elektroniczne w przeciwieństwie do tych tradycyjnych korzystają z zaawansowanych czujników, takich jak magnetometry oraz zintegrowane systemy mikroprocesorowe, co umożliwia bardziej dokładne i złożone pomiary.

2.1. Technologie sensorów

Najważniejszym komponentem całego układu kompasu elektronicznego jest magnetometr, który służy do pomiaru wielkości, kierunku oraz zmian pola magnetycznego Ziemi. Współczesne magnetometry dzielą się na wiele typów, a każdy z nich ma swoje konkretne zastosowanie i dziedzinę, w której się go wykorzystuje. Główną uwagę należy zwrócić na podziały:

- Magnetometry skalarne – mierzą całkowitą siłę pola magnetycznego, ale nie jego kierunek. Działają na zasadzie pomiaru zmiany energii w polu magnetycznym, co pozwala na określenie intensywności pola. Ten rodzaj magnetometrów wykorzystuje się często w badaniach geofizycznych oraz mineralogicznych, na przykład w poszukiwaniu surowców naturalnych.
- Magnetometry wektorowe – mierzą składowe pola magnetycznego w określonym kierunku. Działają na zasadzie pomiaru zmian pola magnetycznego w różnych zwrotach, co umożliwia określenie kierunku pola magnetycznego. Są w stanie mierzyć składowe pola w trzech osiach (X, Y, Z) lub na przykład ograniczyć pomiar tylko do dwóch osi (X, Y). W zależności od zastosowanej technologii mogą oferować różną czułość i dokładność pomiarów.

Biorąc pod uwagę nasze zadanie jedynym słusznym wyborem jest wybranie magnetometru wektorowego, ponieważ dzięki możliwości pomiarów składowych pola magnetycznego będziemy mogli określić kierunek względem północy magnetycznej.

Pole magnetyczne Ziemi jest naturalnym zjawiskiem, generowanym głównie przez ruch płynnego żelaza w jądrze zewnętrznym planety. Jest ono kluczowe dla wielu zjawisk fizycznych, takich jak ochrona przed promieniowaniem kosmicznym czy nawigacja. Magnetometry wykorzystują to pole do określenia kierunku geograficznego względem północy magnetycznej. Wektorowe komponenty pola magnetycznego Ziemi (osie X, Y, Z) są mierzone przez czujniki, które umożliwiają obliczenie azymutu oraz kompensację przechyłów dzięki współpracy z akcelerometrem.

2.2. Mikrokontrolery

Mózgiem naszego układu będzie mikrokontroler, który będzie stanowił centralny element systemu, przetwarzając dane z magnetometru i kontrolując wyświetlacz. Do najpopularniejszych platform należą:

- Arduino – oferuje łatwość użycia, liczne biblioteki oraz sporą społeczność. Wydaje się idealnym rozwiązaniem dla początkujących. Na rynku występuje wiele wersji tych mikrokontrolerów co umożliwia wybór pod specyficzne rozwiązania.
- ESP32 – przeznaczony jest głównie do zastosowań w zakresie IoT² oraz w innych projektach związanych z komunikacją bezprzewodową. Cechuje się zarówno wydajnością obliczeniową oraz niskim zużyciem energii.
- STM32 – jest rodziną mikrokontrolerów o wysokiej wydajności, oferującej wiele opcji interfejsów oraz funkcje oszczędzania energii, co czyni je odpowiednim do zastosowań przemysłowych.

² IoT (ang. Internet of Things) – Internet rzeczy, określa urządzenia wykorzystujące sensory, przetwarzające dane, oprogramowanie i inne technologie, które łączą, wymieniają dane między sobą oraz systemem przy użyciu Internetu lub innej sieci komunikacyjnej.

- Raspberry Pi – to wszechstronny minikomputer, który oferuje znacznie większą moc obliczeniową niż standardowe mikrokontrolery. Jest wyposażony w pełny system operacyjny (zazwyczaj Linux), co czyni go idealnym do zaawansowanych projektów. Raspberry Pi posiada bogate wsparcie społeczności oraz szeroką gamę akcesoriów.
- MSP430 – produkowane przez Texas Instruments, zaprojektowane z myślą o niskim poborze energii. Znajdują zastosowanie w urządzeniach przenośnych, takich jak sensory czy zegarki. Oferują wiele zaawansowanych funkcji oszczędzania energii, które pozwalają na długą pracę na baterii.

2.3. Wyświetlacze graficzne

W celu umożliwienia prezentacji danych użytkownikowi końcowemu wykorzystany zostanie wyświetlacz graficzny. Najczęściej wykorzystywane technologie to:

- LCD³ – wykorzystują właściwości modulujące światło kryształów ciekłych w połączeniu z polaryzatorami w celu wyświetlenia informacji. Ze względu na ich niski koszt i zużycie energii są powszechnie stosowane, głównie do wyświetlania statycznych informacji.
- OLED⁴ – do wyświetlania wykorzystuje diodę elektroluminescentną, w której warstwa emisyjna elektroluminescentna jest warstwą związku organicznego, która emisuje światło w odpowiedzi na prąd elektryczny. Oferują lepszy kontrast, szersze kąty widzenia oraz wyższą energooszczędność przy wyświetlaniu dynamicznych treści.
- E Ink⁵ – technologia wyświetlaczów stosowana głównie w czytnikach e-booków. Wykorzystuje mikrokapsułki zawierające pigmente, które zmieniają położenie pod wpływem pola elektrycznego, tworząc obraz. E Ink charakteryzuje się bardzo niskim zużyciem energii, ponieważ zużywa prąd jedynie podczas zmiany obrazu, a także doskonałą czytelnością w jasnym świetle słonecznym. Jednak technologia ta ma ograniczone możliwości w zakresie wyświetlania kolorów i dynamicznych treści.

2.4. Zasilanie

Bardzo ważną kwestią w tym projekcie jest również jego zasilanie, ponieważ to dzięki wykorzystaniu zewnętrznego źródła zasilania, będziemy w stanie zapewnić mobilność realizacji. Aby zapewnić poprawne ładowanie ogniw należy pamiętać o zastosowaniu układu zabezpieczającego przed nadmiernym przeładowaniem i rozładowaniem ognia. Obecne ładowarki zawierają w sobie odpowiednie zabezpieczenia przed wspomnianymi przypadkami. Do głównego podziału ogniw zaliczamy:

³ LCD (ang. Liquid – Crystal Display). (6)

⁴ OLED (ang. Organic Light – Emitting Diode). (7)

⁵ E Ink - technologia papieru elektronicznego rozwijana przez E Ink Corporation. (8)

- Ogniwa alkaliczne – które do swojego działania wykorzystują reakcje chemiczne. Charakteryzują się stosunkowo wysoką gęstością mocy oraz stabilnym napięciem zasilania, jednak są jednorazowe i nie nadają się do ponownego ładowania. Ich zaletą jest niski koszt i wysoka dostępność.
- Ogniwa litowe – wykorzystują lit jako materiał aktywny. Ich czas pracy jest dłuższy w porównaniu do ogniw alkalicznych. Wykorzystuje się je w urządzeniach mobilnych, gdzie wymagana jest kompaktowa i lekka konstrukcja. Umożliwiają wielokrotne ładowanie co jest ich zaletą.

2.5.Przykłady podobnych rozwiązań

Na rynku dostępnych jest wiele gotowych rozwiązań, które implementują powyższe technologie a do ich przykładów należą:

- Zegarki GPS z funkcją kompasu – zintegrowane z systemem GPS, oferują wskazania kierunku, wysokości oraz inne funkcje nawigacyjne.
- Aplikacje na smartfony – wykorzystują wbudowane czujniki magnetyczne, aby dostarczyć użytkownikowi informacje o kierunku oraz inne parametry, co sprawia, że są praktycznym rozwiązaniem w życiu codziennym.

3. Komponenty Systemu

W projekcie mającym na celu stworzenie elektronicznego kompasu kluczowym zadaniem jest odpowiednie dobranie wszystkich komponentów, które zapewnią nie tylko jego funkcjonalność, ale również niezawodność i precyzje. Do realizacji naszego urządzenia będziemy potrzebować:

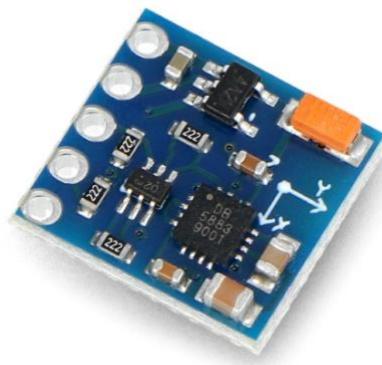
- Modułu magnetometru,
- Mikrokontrolera,
- Wyświetlacza graficznego,
- Źródła zasilania,
- Płytki drukowanej lub płytki stykowej,
- Elementów: R, L, C,
- Przewodów połączeniowych,
- Przycisków,
- Obudowy.

4. Moduł magnetometru i akcelerometru

Wybór odpowiedniego magnetometru do realizacji tego projektu będzie kluczowy, ponieważ to on będzie odpowiadał za określenie kierunku wskazywania naszego układu.

Spośród rozwiązań dostępnych na rynku możemy wyróżnić najpopularniejsze modele:

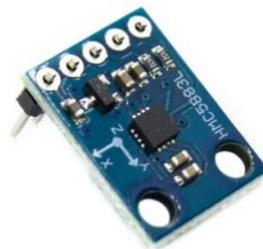
4.1.Magnetometr QMC5883L



Zdjęcie 1 Magnetometr QMC5883L (11)

Moduł ten składa się z 3-osiowego czujnika magneto rezystancyjnego z 16-bitowym przetwornikiem ADC⁶ o niskim poziomie szumów, charakteryzującym się szerokim zakresem pola magnetycznego (+/- 8 [Gs]⁷) przy rozdzielczości 2 [mGs], zapewniając wysoką dokładność pomiaru oraz interfejs I²C do łączności z mikrokontrolerem. Jest układem o niskim poborze prądu, zaledwie 75 [μ A] i operuje na napięciach z zakresu [2,16 - 3,6] [V], dzięki czemu sprawdzi się w układach sterowanych logiką 3,3 [V].

4.2.Magnetometr HMC5883L



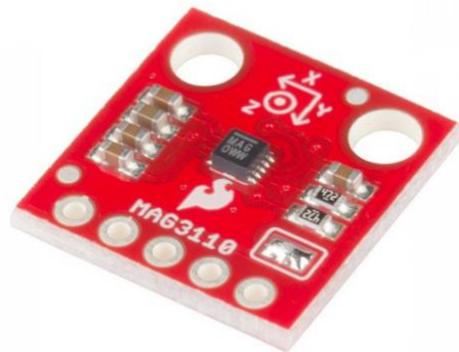
Zdjęcie 2 Magnetometr HMC5883L (13)

Jest to układ bardzo zbliżony do wyżej wymienionego Magnetometr **QMC5883L**. Główną różnicą jest zastosowany 12-bitowy przetwornik ADC.

⁶ ADC (ang. Analog to Digital Converter) – przetwornik analogowo cyfrowy.

⁷ Gaus [Gs] – 1Gs = 100 μ T

4.3.Magnetometr MAG3110

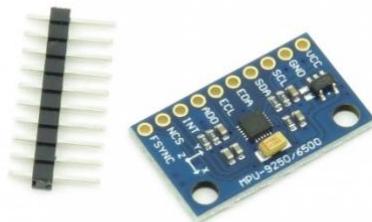


Zdjęcie 3 Mag 3110 Magnetometr cyfrowy I2C (14)

Moduł ten jest kolejnym przykładem 3-osiowego czujnika. Napięcie zasilania jest z przedziału [1,95-3,6] [V], pobór prądu na poziomie $135[\mu\text{A}]$, zakres działania ($+/10 [\text{Gs}]$) przy rozdzielczości 1 [mGs]. Łączność z mikrokontrolerem zapewnia interfejs I2C. Układ działa na 12-bitowym przetworniku ADC.

Zastosowanie samego magnetometru może wywoływać problem błędnych wyników przy odchyleniu czujnika względem płaszczyzny XY. W celu likwidacji tego problemu możliwe jest wykorzystanie akcelerometru. Na rynku dostępne są również moduły które mają wbudowane oba czujniki

4.4.Magnetometr z akcelerometrem MPU925



Zdjęcie 4 Magnetometr MPU925 (15)

Moduł ten posiada magnetometr z 16-bitowym przetwornikiem, o zakresie pomiarowym do 48 [Gs], a także 16-bitowy akcelerometr. Całość komunikuje się z mikrokontrolerem

interfejsem I2C lub SPI. Przy normalnej pracy pobiera 730 [μ A] prądu, działając na napięciu z zakresu [2,4-3,6] [V].

4.5. Magnetometr z akcelerometrem LSM303DLHC

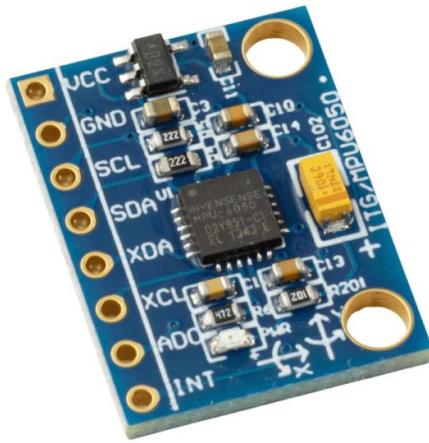


Zdjęcie 5 Magnetometr z akcelerometrem LSM303DLHC (16)

Moduł ten oferuje magnetometr z 16-bitowym przetwornikiem, o zakresie pomiarowym +/- 8 [Gs] oraz 16-bitowy akcelerometr. Pracuje na napięciu z zakresu [2,16-3,6] [V] oraz pobiera 110 [μ A] prądu. Do komunikacji służy interfejs I2C.

Gdy zastosujemy moduł z samym magnetometrem, wskazane jest zastosowanie dodatkowego układu z akcelerometrem. Spośród dostępnych na rynku pozycji proponujemy użycie jednego z następujących czujników:

4.6. Akcelerometr MPU6050



Zdjęcie 6 Akcelerometr MPU6050 (17)

Moduł tego czujnika zawiera 16-bitowy przetwornik ADC. Napięcie zasilanie jest z przedziału [2,38-3,46] [V], a pobierany przez układ prąd jest rzędu 500[μ A].

4.7. Akcelerometr ADXL345



Zdjęcie 7 Akcelerometr ADXL345 (18)

Moduł ten działa na 13-bitowym przetworniku ADC, a komunikuje się z mikrokontrolerem dzięki interfejsom SPI lub I2C. Układ pobiera do $145 \text{ } [\mu\text{A}]$, a działa dla napięcia z zakresu $[2-3,6] \text{ [V]}$.

5. Mikrokontroler

Jako element przetwarzający dane oraz sterujący innymi komponentami posłuży nam mikrokontroler. Biorąc pod uwagę tematykę projektu w tym wypadku pierwszym kryterium nie powinna być wysoka moc obliczeniowa, jednak energooszczędność oraz kompaktowe wymiary. Takie założenia spełnia wiele platform i poszczególnych modeli. Poniżej przedstawiane zostały niektóre z nich, które naszym zdaniem mogłyby sprawdzić się podczas realizacji.

5.1. Arduino Nano Every



Zdjęcie 8 Arduino Nano Every ze złączami - ABX00033 (19)

Jest to ulepszona wersja klasycznej płytki Arduino Nano, zaprojektowana została z myślą o większej niezawodności i wydajności przy podobnych rozmiarach. Bazuje na mikrokontrolerze ATmega4809, co zapewnia lepsze zarządzanie pamięcią i niższe zużycie energii. Na wyprowadzonych pinach znajdziemy między innymi GPIO⁸, I2C⁹, PWM¹⁰. Wymieniona płytka nie oferuje komunikacji bezprzewodowej takiej jak Bluetooth czy Wi-Fi.

Specyfikacja: Mikrokontroler ATmega4809, 48 [kB] pamięci Flash, 6[kB] SRAM¹¹, 256 [B] EEPROM¹², częstotliwość taktowania 20 [MHz], 14 cyfrowych pinów I/O, 5 pinów PWM, 8 wejść analogowych.

Zastosowanie: Ze względu na swoje rozmiary i prostą architekturę, idealnie sprawdza się w podstawowych aplikacjach kontrolno-pomiarowych, niewielkich projektach automatyki czy w elektronice noszonej.

5.2.ESP-WROOM-32



Zdjęcie 9 Płytki ESP32-DevKitC (21)

Jest to popularna płytka ESP32 – DevKitC z wbudowanym modułem ESP-WROOM-32, który obsługuje Wi-Fi i Bluetooth co może być przydatne w późniejszym rozbudowaniu projektu. Zasilana jest napięciem 5 [V] co nie odróżnia jej od poprzednio wspomnianej płytki. W porównaniu jednak jest od niej większa. Dzięki wbudowanym funkcjom komunikacji bezprzewodowej idealnie nadaje się do projektów IoT.

⁸ GPIO (ang. General-Purpose Input/Output) – wejście / wyjście ogólnego przeznaczenia.

⁹ I2C, I²C – szeregowa, dwukierunkowa magistrala służąca do przesyłania danych.

¹⁰ PWM (ang. Pulse-Width Modulation) – metoda regulacji sygnału prądowego lub napięciowego, o stałej amplitudzie i częstotliwości, polegająca na zmianie wypełnienia sygnału. [20]

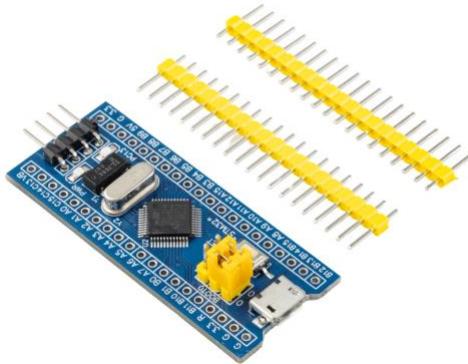
¹¹ SRAM (ang. Static Random Access Memory) – statyczna pamięć o dostępie swobodnym.

¹² EEPROM (ang. Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) – elektrycznie kasowalna i programowalna pamięć tylko do odczytu.

Specyfikacja: Dwurdzeniowy procesor, 520 [kB] RAM, 4 [MB] pamięci Flash, zintegrowany moduł Wi-Fi i Bluetooth, Obsługa interfejsów I2C, SPI¹³, UART.

Zastosowanie: Doskonała do projektów, w których wymagana jest komunikacja bezprzewodowa. W porównaniu z Arduino Nano Every oferuje nam większą moc obliczeniową przy niższej cenie.

5.3.BluePill STM32F103C8T6



Zdjęcie 10 Płytki BluePill STM32 (22)

Płytki BluePill została oparta na mikrokontrolerze STM32F103C8T6 z rdzeniem ARM Cortex – M3. Jest to jedna z najprostszych i najbardziej ekonomicznych płyt ekspansji dostępnych na rynku. Jest niezwykle wszechstronna a w dodatku kompatybilna z Arduino IDE, czyli bardzo przyjaznym programie dla środowiska do jej zaprogramowania. Cieszy się ogromną popularnością wśród elektroników również przez swoją niską cenę, jest to jedna z najbardziej przystępnych cenowo płyt STM32 na rynku.

Specyfikacja: 64 [kB] pamięci Flash, 20 [kB] RAM, interfejsy I2C, SPI, UART, taktowanie maksymalne 72 [MHz], 12 – bitowy przetwornik ADC, zasilanie 5 [V].

Zastosowanie: Odpowiednia do projektów wymagających średniej mocy obliczeniowej. Popularna ze względu na niską cenę oraz wsparcie dla Arduino IDE.

¹³ SPI (ang. Serial Peripheral Interface) – szeregowy interfejs urządzeń peryferyjnych.

5.4.Raspberry Pi Pico 2



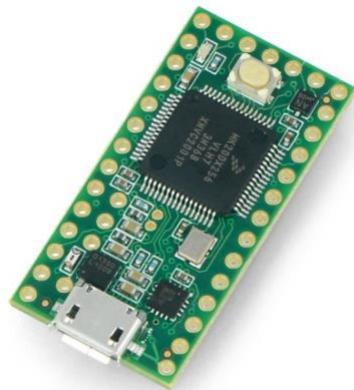
Zdjęcie 11 Rasberry Pi Pico 2 (23)

Jest to odświeżona wersja poprzedniej wersji popularnego modelu, posiadająca autorski mikrokontroler Rasberry RP2350, oparty na ARM Cortex M33 o taktowaniu 150 [MHz]. Oferuje dużą wydajność i możliwość programowania w MicroPythonie lub C++. Jest jedną z pierwszych płyt mikrokontrolerowych tego producenta, z dużym wsparciem od strony społeczności.

Specyfikacja: Dwurdzeniowy procesor ARM, 520 [kB] SRAM, 4 [MB] pamięci QSPI Flash, interfejsy I2C, SPI, PWM, zasilanie 5 [V] ale również może być zasilona z pinu VSYS napięciem od 1,8 [V] do 5,5 [V], przy wykorzystaniu zewnętrznego zasilania.

Zastosowanie: Trafny wybór do projektów wymagających większej mocy obliczeniowej przy zachowaniu kompaktowych rozmiarów.

5.5.Teeny 3.2



Zdjęcie 12 Teensy 3.2 ARM Cortex M4 (24)

Teensy 3.2 jest zaawansowaną płytą mikrokontrolerową oferującą dużą wydajność i obsługę interfejsu USB. Posiada rdzeń ARM Cortex-M4, dzięki czemu jest bardziej wydajna niż inne płytki. Wyprowadzenia pracują z napięciem 3,3 [V].

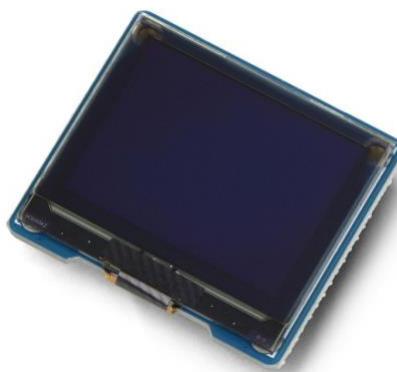
Specyfikacja: 64 [kB] RAM, 256 [kB] pamięci Flash, 2[kB] EEPROM, interfejsy I2C, SPI, UART, obsługa USB, I2S (dla wysokiej jakości interfejsu audio).

Zastosowanie: Idealnie nadaje się do projektów wymagających większej mocy obliczeniowej i bardziej zaawansowanego przetwarzania sygnałów. Oferuje elastyczność programowania i wsparcie dla wielu bibliotek.

6. Wyświetlacz graficzny

Podczas realizacji projektu elektronicznego kompasu dobrym wyborem będzie kompaktowy wyświetlacz graficzny, który jest energooszczędny i zapewni użytkownikowi czytelność interfejsu w różnych warunkach oświetleniowych. Ekran musi być odpowiednich rozmiarów. Z jednej strony za mały ekran utrudni odczytanie wszystkich informacji, z drugiej zbyt duży ograniczy jego możliwości mobilne.

6.1. Wyświetlacz OLED - Waveshare 24777



Zdjęcie 13 Wyświetlacz OLED 1,32" – Waveshare 24777 (25)

Jest to kompaktowy, energooszczędny wyświetlacz OLED o przekątnej ekranu 1,32" i rozdzielczości ekranu 128 x 96 [px]. Oparty został na sterowniku SH1107, który odpowiada za bardzo dobrą jakość obrazu. Został wyposażony w 4-przewodowe interfejsy komunikacyjne SPI oraz I2C umożliwiające sprawną transmisję danych, dzięki czemu wyświetlanie danych może być szybkie i płynne. Prezentowany wyświetlacz jest czarno biały co według nas może nadać projektowi subtelnego minimalistycznego akcentu. Zapewnia kąt widzenia na poziomie 160 stopni. Świeśnie sprawdza się w projektach, gdzie liczy się mały pobór mocy i wysoki kontrast.

6.2. Wyświetlacz LCD - Waveshare 13892



Zdjęcie 14 Wyświetlacz LCD 1,8" – Waveshare 13892 (26)

Kolorowy wyświetlacz LCD TFT¹⁴ o przekątnej ekranu 1,8" i rozdzielczości 160 x 128 [px] komunikujący się poprzez interfejs SPI. Oparty na sterowniku ST7735S, który zapewnia szybki transfer danych. Zasilany jest napięciem 3,3 [V]. Doskonały wybór do wyświetlania szczegółowych informacji, gdzie przydatne są kolory.

6.3. Wyświetlacz E-paper – Waveshare 12955



Zdjęcie 15 Wyświetlacz E-paper 1,54" – Waveshare 12955 (28)

Wyświetlacz e-paper 1,54" o rozdzielczości 200 x 200 [px]. Oparty został na sterowniku SSD1681, wykorzystującym do komunikacji z mikrokontrolerem interfejs SPI. Zapewnia kąt widzenia równy 170 stopniom. Zasilany jest napięciem 3,3 [V] lub 5 [V] co ciekawe zużywa energię tylko wtedy, kiedy jest odświeżany więc jest to najbardziej energooszczędny wyświetlacz dostępny w naszym zestawieniu, do wykonania tej operacji pobiera tylko

¹⁴ TFT (ang. Thin-Film-Transistor) – technologia poprawiająca jakość obrazu, np. adresowalność i kontrast. [21]

26,4 [mW]. Wykorzystana technologia E-paper nie męczy oczu użytkownika i jest idealna do wyświetlania statycznych obrazów.

6.4. Dotykowy wyświetlacz LCD



Zdjęcie 16 Wyświetlacz dotykowy TFT LCD 2,4" (30)

Jest to kolorowy wyświetlacz oferujący, oprócz wyświetlania danych, dodatkową dotygową warstwę w technologii rezystancyjnej, dzięki czemu można zaimplementować obsługę i sterowanie tak jak w dotykowych telefonach bądź tabletach. Wyposażony jest w interfejs SPI do komunikacji z mikrokontrolerami takimi jak Arduino, ESP32 czy STM32. Na rynku dostępne są wyświetlacze o rozdzielczości 320x240 pikseli o przekątnej ekranu 2,4" lub 2,8". Kontrolerem tego wyświetlacza jest układ ILI9341, natomiast dotyk obsługiwany jest przez dedykowany kontroler XPT2046.

7. Zasilanie

Nasz układ tak jak każdy inny (nie pasywny) będzie potrzebował zasilania, w realizacji projektu zależy nam na mobilności i nie dużym rozmiarze. Jednak podczas tego przeglądu spróbujemy rozważyć wszystkie opcje i rozważyć ich zalety i wady. Możemy rozpatrzyć następujące rozwiązania tego problemu.

7.1.Ogniwa Alkaliczne



Zdjęcie 17 Baterie Alkaliczne AA (r6) (29)

Popularne paluszki, czyli baterie AA (r6) oraz AAA (r3), są tanie oraz szeroko dostępne, obydwa rodzaje posiadają napięcie nominalne 1,5 [V]. Ich wykorzystanie sprawdza się świetnie do zastosowań o niskim poborze mocy, takich jak piloty lub zegary. Niestety ich wadą jest żywotność, która jest ograniczona a po rozładowaniu nie można ich ponownie naładować. Znakomicie sprawdzają się w projektach, gdzie łatwo je wymienić, ale nie nadają się do intensywnego użytkowania.

7.2.Ogniwa Litowo – jonowe



Zdjęcie 18 Ogniwo 18650 Li – Ion Panasonic (32)

Ogniwa te cechują się wysoką pojemnością i stabilnym napięciem co sprawia, że są bardzo wydajne i idealne do urządzeń mobilnych. Ich znaczną zaletą jest to, że po rozładowaniu można je ponownie naładować i wykorzystać. Wykorzystując takie ogniwa należy pamiętać, że akumulatory takie mogą nie posiadać zabezpieczeń przed przeładowaniem i przed głębokim rozładowaniem, o co trzeba zadbać. Ich napięcia nominalne to około 3,6 [V] a pojemności

wahają się od 800 [mAh] do 3500 [mAh]. Prawidłowo użytkowana bateria litowo-jonowa stanowi efektywne i bezpieczne źródło zasilania.

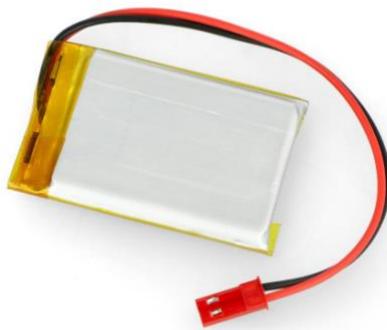
7.3. Powerbank



Zdjęcie 19 PowerBank Green Cell 10000 [mAh] (33)

Powerbank jest przenośnym uniwersalnym źródłem energii, które możemy podłączyć przez USB, co pozwala na łatwe ładowanie. Ich pojemności mogą być różne od kilku do nawet kilkudziesięciu tysięcy mAh. Sprawdzają się w przypadkach, kiedy wymagane jest krótkoterminowe zasilanie. Użycie takiego rodzaju zasilania zwiększyłyby rozmiary realizacji, aczkolwiek ułatwiłyby kwestie związane na przykład z wymianą ogniw.

7.4. Akumulatory Litowo – polimerowe



Zdjęcie 20 Akumulator Li – Pol Akyga 1000 [mAh] 1S (34)

Akumulatory litowo-polimerowe są swojego rodzaju rozwinięciem technologii litowo-jonowej. Wykonane są ze stopu metalicznego litu oraz polimerów przewodzących, co uniemożliwia się „rozlanie” baterii. Ich niemałą zaletą jest mała waga, grubość oraz elastyczność. Wyróżnia je duża pojemność i gęstość energetyczna przy jednoczesnym

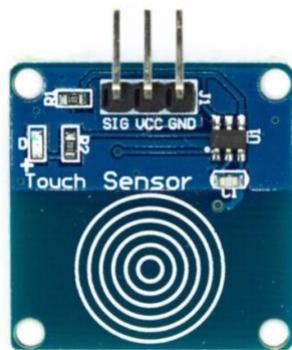
zachowaniu drobnych wymiarów. Akumulator przedstawiony na Zdjęcie 20 to jedno ogniwo (1S) o napięciu 3,7 [V] jednak na rynku możemy znaleźć też takie wykorzystujące cztery ogniwa (4S) ich napięcie plasuje się na 14,8 [V]. Pojemność takich ogniw może mieścić się w zakresie od 110 [mAh] do 12000 [mAh]. Istotne jest pamiętanie o tym, że przy pracy z tym rodzajem baterii wymagają one specjalnych kontrolerów ładowania, aby zapewnić bezpieczeństwo i wydłużyć ich żywotność.

8. Sterowanie

Do sterowania całym urządzeniem możemy wykorzystać różne typy przycisków takie jak mikroprzełączniki bądź czujniki pojemnościowe będące przyciskami dotykowymi. Gdy zastosujemy dotykowy ekran, całość można sterować korzystając wyłącznie z niego. Ważne będzie także zastosowanie odpowiedniego przycisku bądź przełącznika, dzięki któremu będziemy mogli włączyć lub wyłączyć urządzenie.



Zdjęcie 21 Przycisk monostabilny THT (35)



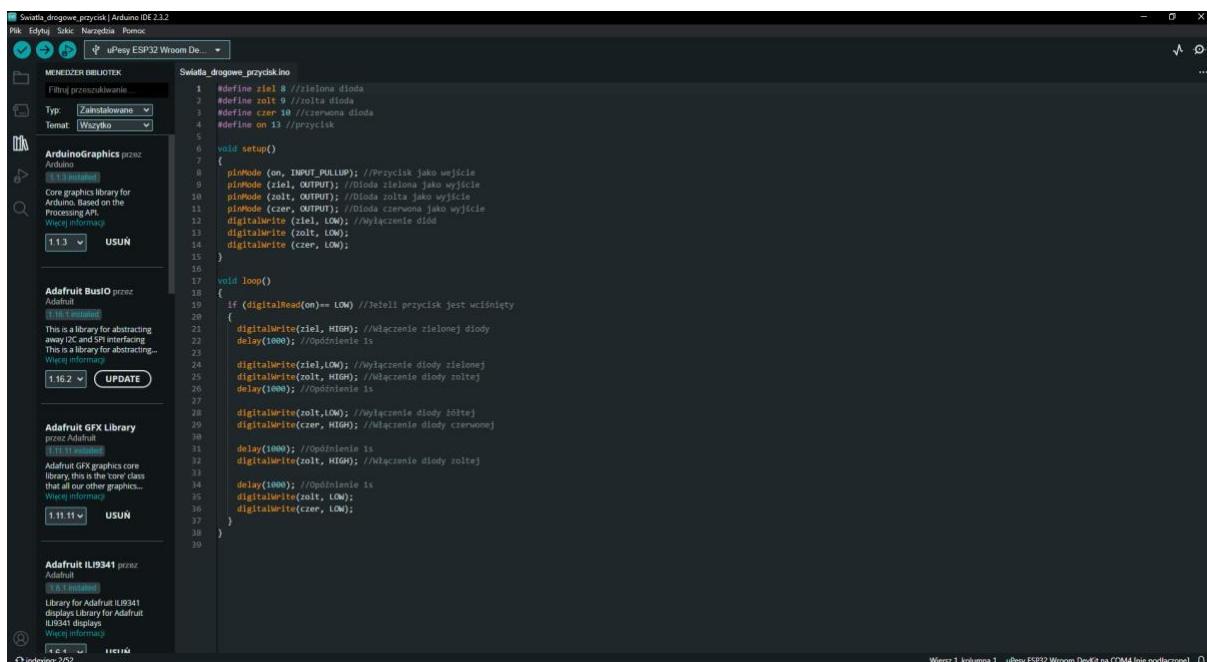
Zdjęcie 22 Przycisk dotykowy TTP223B (36)

9. Obudowa

W celu zwiększenia funkcjonalności urządzenia oraz poprawy jego aspektów wizualnych chcielibyśmy wykonać jego obudowę. W tym celu planujemy wykorzystać oprogramowanie typu CAD oraz drukarkę 3D.

10. Oprogramowanie

Do zaprogramowania całości układu możemy skorzystać z istniejącego IDE¹⁵ od Arduino. Dzięki bogatej bazie bibliotek możemy w łatwy sposób programować wszystkie dołączone moduły, a nawet programować inne mikrokontrolery od Arduino. Środowisko te jest bardzo przyjazne użytkownikowi, a przez swoją uniwersalność możemy programować w nim niezależnie od doboru mikrokontrolera.



Zdjęcie 23 Środowisko Arduino IDE z przykładowym kodem

11. Przegląd istniejących rozwiązań kompasów elektronicznych

Na rynku istnieje wiele urządzeń, które wykorzystują implementację kompasu elektronicznego. Możemy wymienić między innymi smartwatche, które wiele osób wykorzystuje chociażby podczas biegania w terenie, wtedy funkcja kompasu umożliwia im łatwą nawigację w wypadku, kiedy zgubią orientację. Podobną funkcję może pełnić aplikacja w telefonie komórkowym, która

¹⁵ IDE (ang. Integrated Development Environment) – Zintegrowane Środowisko Programistyczne.

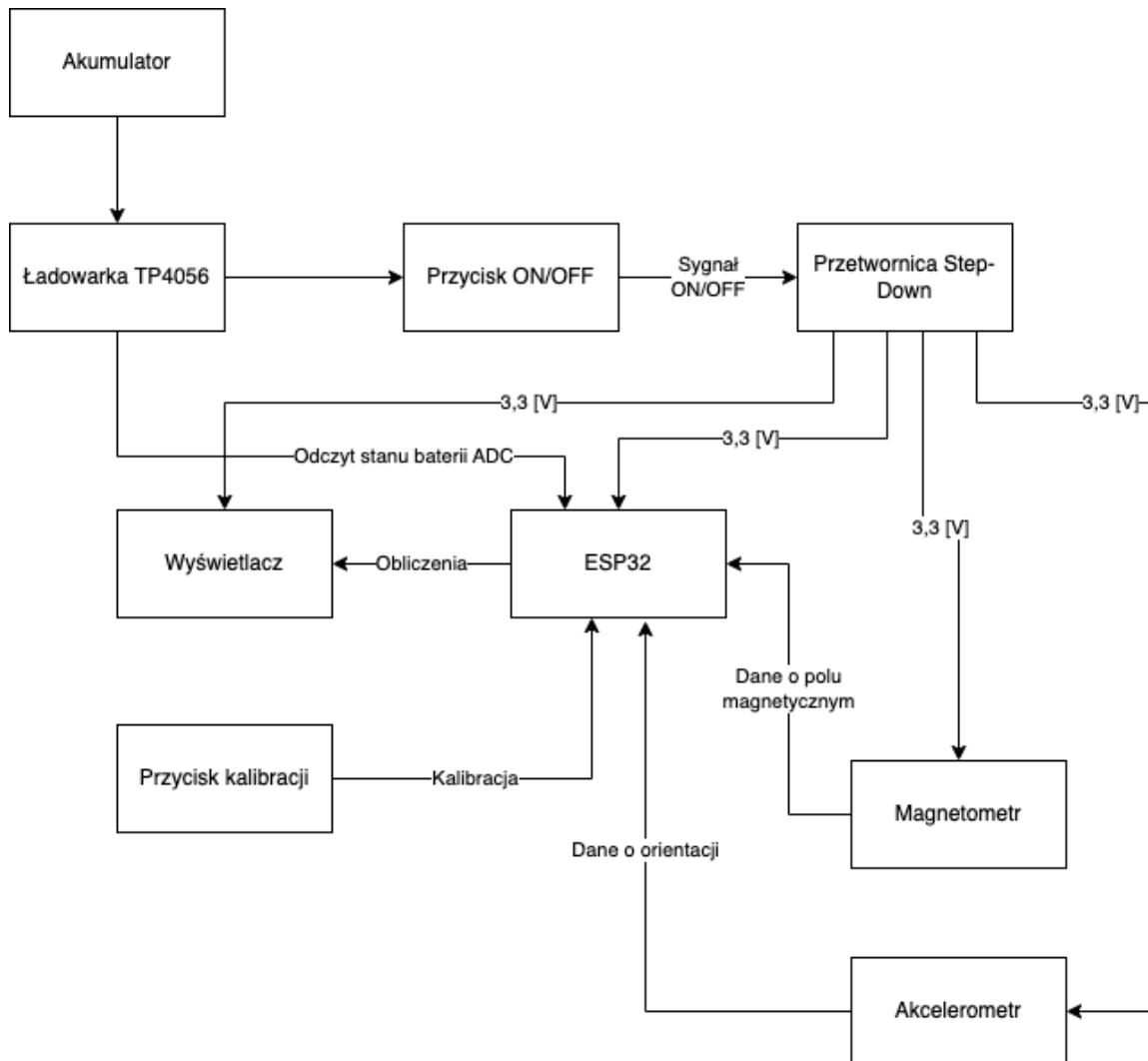
może dodatkowo pokazywać nam szereg dodatkowych informacji. Jeżeli chodzi o bardziej zaawansowane urządzenia wykorzystujące taką technologię to jest to na przykład nawigacja GPS.

Jednak w tym opisie chcielibyśmy skupić się głównie na urządzeniach firmy GARMIN dokładnie serii Foretrex®. Są to urządzenia nawigacyjne GPS kompaktowych rozmiarów, wyposażone w czytelny, monochromatyczny wyświetlacz oraz zaawansowane czujniki nawigacyjne. Wykorzystuje 3-osiowy akcelerometr, 3-osiowy kompas oraz barometryczny wysokościomierz. Umożliwia użytkownikowi wyświetlenie kompasu w celu nawigacji, dystansu do wyznaczonej lokalizacji, prędkość poruszania się, poziomu nad poziomem morza, koordynatów, na których się aktualnie znajduje, śledzenia przebytej trasy, nawigacji, łączność bezprzewodową i wiele innych funkcji. Z powodu jego kompaktowego rozmiaru i wielu funkcjonalności jest to urządzenie, na którym chcielibyśmy się wzorować w naszej pracy, przedstawione zostało na Zdjęcie 24.



Zdjęcie 24 GARMIN Foretrex® 801 (41)

12. Propozycja rozwiązania

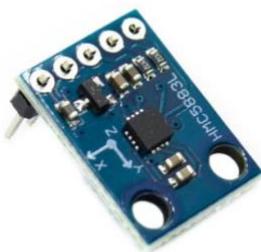


Zdjęcie 25 Schemat działania zaproponowanego układu

Na powyższej grafice przedstawiliśmy schemat działania kompasu elektronicznego z odczytem na ekranie graficznym. Dzięki jego analizie jesteśmy w stanie wyróżnić poszczególne elementy systemu i ich funkcje.

13. Dobór konkretnych komponentów

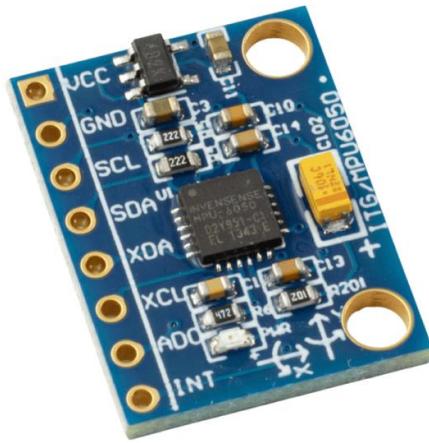
13.1. Magnetometr



Zdjęcie 25 Magnetometr HMC5883L (11)

W projekcie wykorzystaliśmy magnetometr HMC5883L. Moduł ten składa się z 3-osiowego czujnika magneto-rezystancyjnego z 12-bitowym przetwornikiem ADC o niskim poziomie szumów, charakteryzującym się szerokim zakresem pola magnetycznego (± 8 [Gs]) przy rozdzielczości 2 [mGs], zapewniając wysoką dokładność pomiaru oraz interfejs I₂C do łączności z mikrokontrolerem. Jest układem o niskim poborze prądu, zaledwie 75 [μ A] oraz operuje na napięciach z zakresu [2,16 - 3,6] [V], dzięki czemu sprawdzi się w układach sterowanych logiką 3,3 [V].

13.2. Akcelerometr



Zdjęcie 26 Akcelerometr MPU6050 (17)

Aby zwiększyć dokładność działania kompasu, wykorzystamy akcelerometr. Ten komponent umożliwia skompensowanie nachylenia urządzenia, co jest istotne, ponieważ sam magnetometr działałby poprawnie tylko wtedy, gdy kompas byłby utrzymywany w idealnie poziomej

pozycji. Akcelerometr mierzy orientację urządzenia względem wektora grawitacji, co pozwala określić kąt nachylenia. Podczas realizacji projektu wykorzystamy moduł akcelerometru i żyroskopu MPU6050. Reagujący na przyspieszenie liniowe i kątowe w trzech osiach łącznie dając sześć stopni swobody. Moduł ten jest oparty o układ MEMS MPU6050. Akcelerometr zapewnia pomiary w osiach X, Y, Z i każdą z nich może mierzyć w zakresie przyspieszenia $\pm [2; 4; 8; 16]$ [g]. Żyroskop również może przeprowadzać pomiary według tych osi a przyspieszenie wokół każdej z nich może wyrazić w zakresie $\pm [250; 500; 1000; 2000]$ [deg/sec]. Dodatkowo moduł posiada czujnik temperatury, który możemy wykorzystać w naszym projekcie bez korzystania z innego dodatkowego komponentu. Moduł jest zasilany napięciem od 3 do 5 [V] a komunikacja przeprowadzana jest przy użyciu interfejsu I2C.

13.3. Mikrokontroler



Zdjęcie 27 Płytki ESP32-DevKitC (21)

Wybierając mikrokontroler, który będzie sterował pracą naszego urządzenia podjęliśmy decyzję o wykorzystaniu platformy ESP32. Wybrana płytka to ESP32 z ESP-WROOM-32 38-pin z układem CP2102. Moduł ten posiada 32-bitową architekturę dwurdzeniową, co czyni go bardzo wydajnym układem, ma niewielkie rozmiary co uznajemy jako znaczącą korzyść w tym projekcie. Komponent dysponuje pamięcią RAM o rozmiarze 520 [kB] oraz Flash 4 [MB] pomimo tego wyposażony został w moduł WiFi 2,4 [GHz] w standardzie B/G/N oraz Bluetooth Low Energy v4.2. Do wykorzystaniu wyprowadzono 33 wyjścia GPIO z popularnymi interfejsami takimi jak: UART, SPI, I2C jak również 12-kanałowy przetwornik analogowo cyfrowy oraz 2-kanałowy przetwornik cyfrowo analogowy. Do komunikacji z mikrokontrolerem oraz jego programowania użyto złącza USB-C.

Jesteśmy świadomi, że w naszym projekcie nie wykorzystamy pełnego potencjału tej płytka, zwłaszcza funkcji komunikacji bezprzewodowej. Jednak decyzję o jej wyborze podjęliśmy, kierując się również innymi czynnikami. Moduł ten jest kompatybilny z przystępnym środowiskiem programistycznym Arduino IDE, a dodatkowo traktujemy to jako okazję do

rozwijania własnych umiejętności. Nauka obsługi tej płytki może okazać się wartościowa w kontekście przyszłych projektów.

13.4. Wyświetlacz graficzny



Zdjęcie 28 Wyświetlacz dotykowy TFT LCD 2,4" (30)

Do prezentacji wyników działania naszego urządzenia posłużymy się wyświetlaczem LCD, opartym o technologię TFT, a dokładniej: Wyświetlaczem dotykowym TFT LCD 2,4" 240x320px z czytnikiem SD SPI ILI9341. Jest to wyświetlacz kolorowy o rozdzielczości 320 x 240 pikseli mogący wyświetlić aż 65 536 kolorów, kontrolowany przez sterownik ILI9341. Wyposażony został w dodatkową warstwę dotykową w technologii rezystancyjnej co umożliwia nam sterowanie pracą kompasu oraz obsługę interfejsu, bez nadmiaru dodatkowych przycisków. Możliwość dotyku obsługiwana jest przez dedykowany kontroler XPT2046 z interfejsem SPI, który w momencie wykrycia dotknięcia jest w stanie zgłosić przerwanie do mikrokontrolera. Moduł posiada slot na kartę pamięci, przy użyciu której będziemy w stanie wyświetlić przygotowane wcześniej grafiki. Wyświetlacz ten dobrze współpracuje z platformą ESP32 a w Internecie można znaleźć wiele poradników odnoszących się do jego konfiguracji. Zasilany jest napięciem 3,3 [V] a zakres temperatury pracy to [-20; 70] [°C].

13.5. Zasilanie

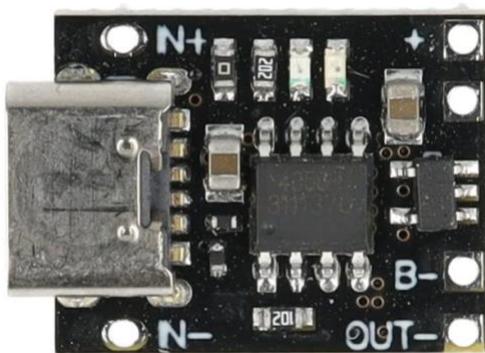
13.5.1. Akumulator



Zdjęcie 29 Ogniwo 18650 Li – Ion Panasonic (32)

W celu dostarczenia zasilania do naszego układu wykorzystany zostanie akumulator Panasonic NCR18650PF. Jest to ognisko litowo-jonowe w rozmiarze 18650 o napięciu nominalnym 3,7 [V] oraz pojemności 2900 [mAh]. Zakres napięcia znajduje się w przedziale [2,5; 4,2] [V], niestety jest to ognisko niezabezpieczone przed nadmiernym rozładowaniem jak i zarówno przeładowaniem. Jego maksymalny prąd ładowania to 1375 [mA] a rozładowania 10 [A].

13.5.2. Ładowarka



Zdjęcie 30 Moduł ładowania akumulatorów TP4056 (40)

Aby zapewnić wygodne ładowanie akumulatora, bez konieczności jego ciągłego wyciągania z urządzenia, a także aby zabezpieczyć układ przed nadmiernym rozładowaniem, za wysokim prądem ładowania bądź przegrzewaniem, zastosować można moduł ładowania akumulatorów TP4056. Moduł ten zapewnia nam wszystkie potrzebne

rozwiązań dla naszego akumulatora, to znaczy posiada napięcie odcięcia przy wartości 4,2 [V] (ochrona przed przeładowaniem) oraz 2,5 [V] (ochrona przed nadmiernym rozładowaniem). Układy te można zasilać za pomocą różnych złączy. Zdecydowaliśmy się na wybór złącza USB-C, które jest obecnie najpowszechniejszym spośród wszystkich standardów ładowania urządzeń elektronicznych.

13.5.3. Przetwornica step-down



Zdjęcie 31 Przetwornica step-down LM2596 3 A DC-DC (37)

W celu uzyskania dobrego napięcia zasilania wykorzystamy przetwornicę step-down zbudowaną na układzie LM2596. Układ ten zamienia stałe napięcie wejściowe na stałe napięcie wyjściowe (DC-DC). Będzie ona idealnym wyborem do naszego projektu, ponieważ potrzebujemy obniżyć napięcie z akumulatora (3,7 [V]) do napięcia 3,3 [V] wobec tego jedynym możliwym wyborem jest układ step-down. Moduł ten może przyjąć na wejście napięcie w zakresie [3; 35] [V]. Napięcie wyjściowe jest regulowane przez potencjometr wieloobrotowy w zakresie [1,5; 30] [V]. Maksymalny możliwy prąd wyjściowy do uzyskania to 3 [A] jednak do stałej pracy prąd ten jest na poziomie 2 [A]. Do uzyskania jej maksymalnych osiągów oraz jeżeli moc pobierana przekracza 15 [W] obowiązkowe jest wykorzystanie radiatorka, który pozwoli odprowadzić nadmierne ciepło. Maksymalna wydajność tej przetwornicy to 92 %.

13.5.4. Koszyk na akumulator



Zdjęcie 32 Koszyk na akumulator 18650 (38)

Żeby umożliwić działanie ogniska musi ono być umieszczone w koszyku wykorzystamy do tego koszyk na akumulator 18650 z wprowadzonymi przewodami do podłączenia. Jego rozmiar odpowiada wymiarom wykorzystywanego przez nas akumulatora. Dodatkowo jest bardzo lekki (8,5 [g]) co nie dołoży zbędnej masy w naszym mobilnym projekcie.

13.6. Sterowanie



Zdjęcie 33 Przełącznik kołyskowy (39)

Do sterowania dopływem zasilania do układu wykorzystamy prosty przełącznik kołyskowy, który po umieszczeniu pomiędzy przetwornicą a ładowarką TP4056 będzie służył jako przycisk ON/OFF całego kompasu. Przełącznik zostanie umieszczony po układzie ładowarki w celu umożliwienia jej ładowania akumulatora bez konieczności uruchamiania całego układu.

14. Opis wykorzystywanych elementów

14.1. Zasilanie i zarządzanie energią

- Ładowarka TP4056 – służy do ładowania akumulatora przez złącze USB i ochrony przed nadmiernym rozładowaniem/przeładowaniem.
- Akumulator Li-Ion – jest źródłem zasilania całego układu.
- Przycisk ON/OFF – fizyczny przycisk odpowiedzialny za włączenie/wyłączenie zasilania całego układu. Powinien być umiejscowiony przed przetwornicą step-down, żeby być w stanie odciąć lub dostarczyć do niej zasilanie.
- Przetwornica step-down – obniża napięcie z akumulatora (3,7 [V]) do poziomu 3,3 [V] wymaganego przez wszystkie pozostałe elementy.

14.2. Mikrokontroler ESP32

Jest to centralny element naszego systemu, posłuży nam do kontroli nad całym układem. Jego wyprowadzone piny możemy wykorzystać w następujący sposób.

- Interfejs I2C – zostanie wykorzystany do komunikacji z magnetometrem i akcelerometrem.
- Interfejs SPI – użyjemy go do komunikacji mikrokontrolera z wyświetlaczem graficznym.
- Interfejs GPIO – interfejsy te możemy użyć do komunikacji z innymi periferiami takimi jak przycisk ON/OFF.
- Moduł ADC – konwerter analogowo cyfrowy może posłużyć nam do monitorowania stanu napięcia akumulatora.
- Moduł DAC – do generowania sygnałów analogowych wykorzystywanych w kalibracji wykorzystany zostanie przetwornik cyfrowo analogowy.

14.3. Czujniki

- Magnetometr QMC5883L – układ odpowiedzialny za pomiary pola magnetycznego w trzech osiach.
- Akcelerometr MPU6050 – dostarczy nam informacji o orientacji urządzenia w przestrzeni i kompensuje nachylenie magnetometru.

14.4. Moduł wyświetlania

- Wyświetlacz graficzny TFT ILI9341 – układ ten będzie odpowiedzialny za prezentowanie wyników działania urządzenia.

14.5. Elementy dodatkowe

- Przycisk kalibracji – jego wcisnięcie spowoduje wysłanie sygnału odpowiedzialnego za inicjalizację procedury kalibracji.

15. Bilans prądu

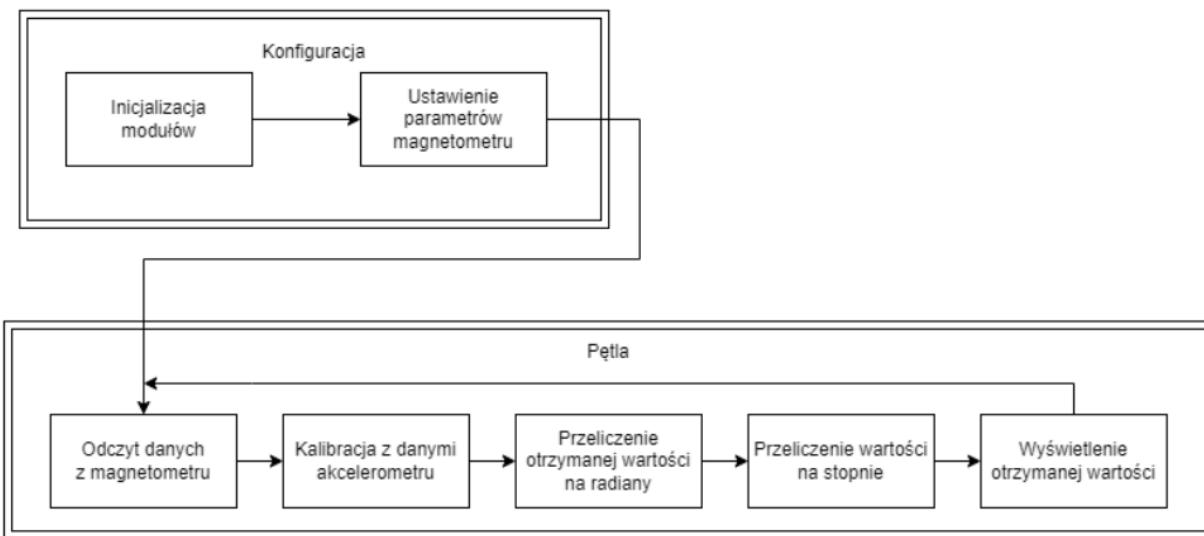
Na podstawie danych w notach katalogowych, spodziewamy się następujących maksymalnych wartości prądu:

- ESP32 – 150 [mA]
- Magnetometr – 0,075 [mA]
- Akcelerometr – 0,5 [mA]
- Wyświetlacz – 100 [mA]

Łączna wartość prądu wynosi około 250mA. Przy akumulatorze o pojemności 2900mAh spodziewamy się, że urządzenie będzie działało około 10 – 12h bez konieczności ładowania.

16. Opis realizacji wybranego rozwiązania

W celu realizacji projektu zaczęliśmy od połączenia kluczowych elementów na płytce stykowej oraz napisaliśmy kod, którego schemat blokowy prezentuje się następująco:



Zdjęcie 34 Schemat działania kodu programu

W ramach konfiguracji inicjalizowane jest używanie konkretnych modułów i ustawienie parametrów takich jak zakres pomiarów, częstotliwość odświeżania danych, liczba próbek do uśredniania wyniku.

W ramach działania układu w pętli odczytywana jest wartość z magnetometru w gausach, wraz z kalibracją przy użyciu akcelerometru. Następnie wartość jest przeliczana na radiany (dzięki funkcji atan), a w następnym kroku na stopnie. Na koniec wyświetlamy aktualną wartość w stopniach.

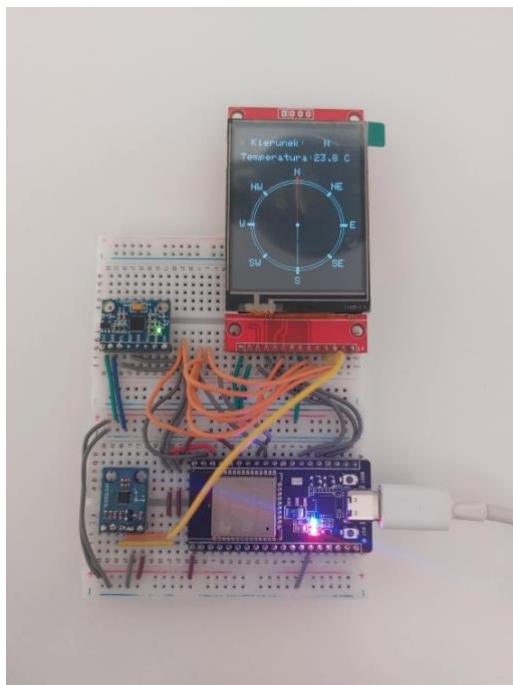
17. Wykonanie prototypu

Pierwsze składanie układu wykonaliśmy przy wykorzystaniu płytEK prototypowych, w które wpieśliśmy wszystkie z komponentów. Niestety w tym momencie napotkaliśmy na pierwszy z problemów z komponentami, ponieważ nie uzyskaliśmy komunikacji magnetometru z mikrokontrolerem. Po wymianie elementu oraz wykorzystaniu innej biblioteki kod realizował swoją funkcję zgodnie z oczekiwany schematem.

Do kodu dodaliśmy prezentację zebranych danych w formie klasycznej tarczy kompasu dzięki funkcji rysowania zawartej w bibliotece obsługującej wyświetlacz. Dzięki wbudowanemu czujnikowi temperatury w układ akcelerometru MPU6050 do wyświetlanego danych dodaliśmy również wyświetlanie aktualnej temperatury. Dzięki takiemu rozwiązaniu użytkownik może na ekranie zobaczyć nie tylko aktualny kierunek, ale również odczyt temperatury zewnętrznej.

Podczas testów kompas prezentował dane obrócone o 90 stopni, co wynikało z konstrukcji naszego modułu magnetometru i jego umieszczeniu na płytce stykowej co zostało skorygowane programowo. W ostatecznej wersji naszego kompasu rozwiązaliśmy ten problem poprzez [obrótanie czujnika na docelowej płytce oraz za komentowanie linii odpowiedzialnych za sztuczne obrócenie danych w kodzie kompasu].

Testowany przez nas układ prezentował się następująco:



Zdjęcie 35 Testowany układ zestawiony na płytach stykowych

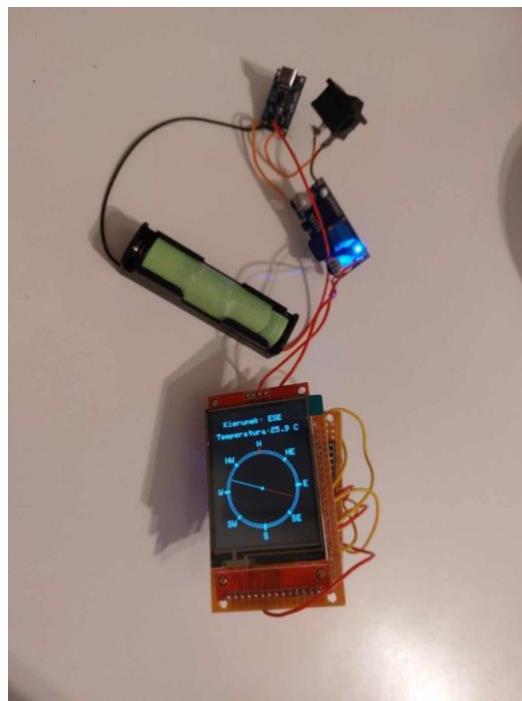
18. Lutowanie układu



Zdjęcie 36 Proces lutowania układu

Kolejnym etapem realizacji projektu było przymontowanie elementów na uniwersalnej płytce drukowanej i połączenia ich z układem zasilania. Gdzie napotkaliśmy kolejny z problemów jakim było ułożenie płataniiny kabli oraz ograniczenie miejsca w stworzonym układzie. Dodatkowo była to dla nas pierwsza styczność z tak rozbudowanym lutowaniem co doprowadziło do przegrzania i uszkodzenia jednego z układów ładowarki TP4056 oraz do niezliczonej ilości ułamanych przewodów, które należało ponownie połączyć.

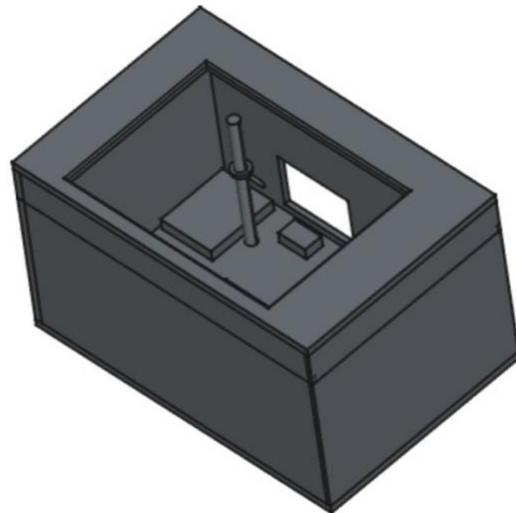
Ostatecznie udało nam się stworzyć poprawnie działający układ będący spójną całością.



Zdjęcie 37 Końcowy układ po procedurze lutowania

19. Obudowa

Po sprawdzeniu stabilności działania układu, rozpoczęliśmy projektowanie obudowy, w której moglibyśmy umieścić nasz układ. Proces projektowania wykonaliśmy w aplikacji FreeCAD gdzie wykonaliśmy dwie części, z których będzie składała się nasza obudowa.



Zdjęcie 38 Złożenie zaprojektowanej obudowy

Przed możliwością wydruku wykonany projekt musieliśmy przetworzyć przy użyciu oprogramowania typu „slicer”, które tworzy ścieżkę i instrukcję wydruku dla drukarki. Wykonanie tych czynności umożliwiło nam rozpoczęcie druku na drukarce 3D.



Zdjęcie 39 Obudowa po zakończeniu drukowania

Po zakończeniu procesu drukowania obudowa posiadała wypełnienia oraz wsporniki, które zostały dodane w procesie druku w celu umożliwienia prostszych operacji. Obudowę musieliszy wyczyścić oraz wygładzić i byliśmy gotowi do umieszczenia w niej naszego układu.

20. Ewaluacja projektu

W przyszłości istnieje możliwość poprawy projektu na podstawie tego czego nauczyliśmy się podczas realizacji pierwszego prototypu. Głównymi obszarami, które należałyby poprawić to

20.1. Komponenty

W realnym projekcie należałyby wykorzystać bardziej dostosowane do niego komponenty, aby nie marnować ich możliwości.

Wykorzystany mikrokontroler posiada dużą moc obliczeniową, która jest zbędna do obsługi kompasu oraz funkcję bezprzewodowe, które nie zostały wykorzystane w realizacji. Niektóre z układów okazały się wrażliwe na przegrzewanie tak jak układ ładowarki TP4056, który podczas dłuższego lutowania ulegał spaleniu.

W następnej realizacji należy lepiej dostosować komponenty do wymagań projektu pod kątem wykorzystania ich zasobów oraz ich wielkości.

20.2. Rozmiar

Rozmiary niektórych elementów były za duże tak jak okazało się to w przypadku przetwornicy. Elementem, który można byłoby zastąpić jest również ogniwko litowo – jonowe, które można by wymienić na bardziej kompaktowy i popularniejszy w rozwiązaniach mobilnych akumulator litowo – polimerowy.

Większa miniaturyzacja mogłaby nas doprowadzić do zaprojektowania własnej płytki drukowanej, która zawierałaby wszystkie komponenty w znacznie mniejszych rozmiarach.

20.3. Materiały

Podczas realizacji realnego projektu ważnym aspektem jest wykorzystanie lepszej jakości materiałów oraz komponentów. Główną przeszkodą było wykorzystanie kabli złożonych z pojedynczego drutu, które podczas lutowania przegrzawały się przez co stawały się nadmiernie kruche a ich sztywność uniemożliwiała łatwe manewrowanie poszczególnymi płytami bez ich urywania.

20.4. Obudowa

Obudowa została zaprojektowana bez wystarczającej tolerancji bez przewidzenia niedokładności drukowania i innych czynników. Należałyby zwiększyć jej wymiary względem całości układu, aby łatwiej było go w niej umieścić. Warto byłoby również zwrócić uwagę na same ustawienia drukowania oraz je zmienić, na przykład zwiększyć dokładność drukowania oraz zagęścić jego wypełnienie (co wydłuża czas drukowania).

21. Podsumowanie

Projekt elektronicznego kompasu z graficznym wyświetlaczem okazał się nie tylko cennym doświadczeniem inżynierskim, ale również fascynującym spojrzeniem na współpracę współczesnych technologii, takich jak magnetometry, akcelerometry i mikrokontrolery. Pomimo napotkanych trudności udało nam się zrealizować funkcjonalny prototyp, który spełnia założenia techniczne, jednocześnie oferując możliwości dalszego rozwoju i optymalizacji.

Proces projektowania dobrze zobrazował znaczenie integracji układów elektronicznych, ich kalibracji oraz optymalnego rozmieszczenia. Projekt ten uświadomił nas, że powstawanie takich urządzeń to skomplikowany i długi ciąg współgrających ze sobą części a droga jaką trzeba przebyć nie jest prostolinienna.

Nie udało się jednak doprowadzić projektu do pełnej zaplanowanej wersji. Z powodu wielu trudności i problemów nie byliśmy w stanie zamknąć całości w obudowie i ukończyć w pełni mobilnej wersji prototypu. Wersja po lutowaniu była w pełni funkcjonalna jednak przez wykorzystane kabelki oraz jakość połączeń okazała się zbyt delikatna do dalszego etapu. Powstałe uszkodzenia i próba ich naprawienia okazała się zbyt czasochłonna i najprawdopodobniej doprowadziły do rozpoczęcia procesu lutowania od początku.

Mimo to projekt był wartościowym doświadczeniem, które pokazało jak istotna jest współpraca między różnymi podzespołami oraz staranność w ich kalibracji i konfiguracji. Zdobyta wiedza i praktyka z pewnością zaprocentuje w przyszłych przedsięwzięciach.

22. Bibliografia

W bibliografii projektu zawarte zostały linki dostępowe do źródeł, z których czerpaliśmy informację podczas sporządzania przeglądu literatury. W nawiasach kwadratowych „[...]" po hiperlinkach zostały wpisane daty dostępu do nich.

- 1) <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetometer> [02.11.2024]
- 2) <https://botland.com.pl/content/arduino> [02.11.2024]
- 3) <https://botland.com.pl/blog/esp32> [02.11.2024]
- 4) <https://botland.com.pl/blog/stm32> [02.11.2024]
- 5) https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things [02.11.2024]
- 6) https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal_display [02.11.2024]
- 7) <https://en.wikipedia.org/wiki/OLED> [02.11.2024]
- 8) https://pl.wikipedia.org/wiki/E_Ink [05.11.2024]
- 9) https://pl.wikipedia.org/wiki/Bateria_alkaliczna [02.11.2024]
- 10) https://pl.wikipedia.org/wiki/Akumulator_litowo-jonowy [02.11.2024]
- 11) <https://botland.com.pl/magnetometry/qmc5883l> [02.11.2024]
- 12) <https://sklep.msalamon.pl/produkt/kompas-magnetometr-na-qmc5883l/> [02.11.2024]
- 13) <https://pl.aliexpress.com/item/1005007570065564> [02.11.2024]
- 14) <https://botland.com.pl/2606-mag3110-3-osiowy-magnetometr> [05.11.2024]
- 15) <https://kamami.pl/557794-modmpu9250> [05.11.2024]
- 16) <https://botland.com.pl/5635-lsm303dlhc-3-osiowy-akcelerometr> [05.11.2024]
- 17) <https://sklep.msalamon.pl/produkt/mpu6050-modul> [05.11.2024]
- 18) <https://botland.com.pl/1912-adxl345-3-osiowy-akcelerometr-cyfrowy-i2c> [05.11.2024]
- 19) <https://botland.com.pl/arduino-seria-nano> [02.11.2024]
- 20) <https://pl.wikipedia.org/wiki/Modulacja> [02.11.2024]
- 21) <https://botland.com.pl/moduly-wifi-i-bt-esp32> [02.11.2024]
- 22) <https://sklep.msalamon.pl/produkt/plytka-bluepill> [02.11.2024]
- 23) <https://botland.com.pl/moduly-i-zestawy-do-raspberry-pi-pico-2> [02.11.2024]
- 24) <https://botland.com.pl/6858-teensy-32> [02.11.2024]
- 25) <https://botland.com.pl/wyswietlacze-oled> [02.11.2024]
- 26) <https://botland.com.pl/wyswietlacz-lcd> [02.11.2024]
- 27) https://en.wikipedia.org/wiki/TFT_LCD [02.11.2024]
- 28) <https://botland.com.pl/wyswietlacze-e-paper> [02.11.2024]
- 29) <https://botland.com.pl/baterie/10967-bateria-aa-r6> [02.11.2024]
- 30) <https://sklep.msalamon.pl/produkt/wyswietlacz-dotykowy-tft> [05.11.2024]
- 31) <https://botland.com.pl/baterie/10966-bateria-aaa-r3> [02.11.2024]
- 32) <https://botland.com.pl/akumulatory-li-ion> [02.11.2024]
- 33) <https://botland.com.pl/mobilne-baterie-powerbank> [02.11.2024]
- 34) <https://botland.com.pl/akumulatory-li-pol-1s-37v> [02.11.2024]
- 35) <https://botland.com.pl/tact-switch/381-tact-switch> [05.11.2024]
- 36) <https://sklep.msalamon.pl/produkt/ttp223b-przycisk-dotykowy/> [05.11.2024]
- 37) <https://sklep.msalamon.pl/produkt/przewornica-3a-dc-dc-step-down-lm2596/> [21.01.2025]
- 38) <https://sklep.msalamon.pl/produkt/koszyk-na-akumulator-18650-plaski/> [21.01.2025]

- 39) <https://abc-rc.pl/pl/products/przelacznik-kolyskowy-bistabilny> [21.01.2025]
- 40) <https://sklep.msalamon.pl/produkt/modul-ladowania-tp4056> [21.01.2025]
- 41) <https://www.garmin.com> [02.11.2024]