



**POLITECHNIKA ŁÓDZKA**



**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, ELEKTRONIKI,  
INFORMATYKI I AUTOMATYKI**



**INSTYTUT MECHATRONIKI I SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH**

# **Praca dyplomowa inżynierska**

na temat:

**Stacja pogodowa zasilana z ogniwa fotowoltaicznego  
konfigurowana przez urządzenie mobilne**

(Weather station powered through photovoltaic cell configurable with  
mobile device)

Imię i Nazwisko: **Bartosz Porąbka**

Nr albumu: **209669**

Kierunek: **Mechatronika**

Opiekun pracy:  
**Dr Maciej Kacperski**

Łódź, sierpień 2021

## Spis treści

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | Wstęp.....  | 3  |
| 1.1.   | Cel pracy i założenia projektu .....                              | 4  |
| 1.2.   | Gotowe rozwiązania stacji pogodowych .....                        | 4  |
| 2.     | Dobór podzespołów i środowisko pracy. ....                        | 7  |
| 2.1.   | Wybór mikrokontrolera. ....                                       | 7  |
| 2.2.   | Dobór czujników .....   | 10 |
| 2.2.1. | Czujnik ciśnienia oraz temperatury powietrza BMP280.....          | 10 |
| 2.2.2. | Kompas trzyosiowy .....   | 11 |
| 2.2.3. | Moduł szczelinowy z płytką enkodera .....                         | 12 |
| 2.2.4. | Ogniwo fotowoltaiczne .....                                       | 13 |
| 2.2.5. | Środowisko Arduino IDE .....                                      | 14 |
| 3.     | Wykonanie stacji .....  | 15 |
| 3.1.   | Pomiar temperatury powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego. .... | 15 |
| 3.2.   | Pomiar kierunku wiatru .....                                      | 16 |
| 3.3.   | Pomiar prędkości wiatru .....                                     | 19 |
| 3.4.   | Przesyłanie pomiarów.....   | 22 |
| 3.5.   | Konfiguracja za pomocą urządzenia mobilnego .....                 | 23 |
| 3.6.   | Energooszczędność układu.....                                     | 27 |
| 3.6.1. | Deep Sleep.....   | 27 |
| 3.6.2. | Doładowanie za pomocą ogniwa fotowoltaicznego .....               | 28 |
| 3.6.3. | Jak długo układ może działać? .....                               | 28 |
| 3.7.   | Schemat połączeń stacji pogodowej .....                           | 30 |
| 3.8.   | Obudowa.....  | 31 |
| 3.9.   | Testy działania stacji .....                                      | 32 |
| 4.     | Podsumowanie .....  | 37 |
| 5.     | Bibliografia.....   | 38 |
| 6.     | Wykaz ilustracji.....   | 39 |
| 7.     | Wykaz tabel.....  | 39 |
| 8.     | Wykaz wzorów .....  | 39 |
| 9.     | Streszczenie pracy .....  | 40 |
| 9.1.   | Streszczenie w języku polskim.....                                | 40 |
| 9.2.   | Summary.....  | 40 |

## 1. Wstęp

Wiedza na temat tego jaka danego dnia jest pogoda, bez wątpienia jest bardzo przydatną i praktyczną umiejętnością w codziennym życiu każdego człowieka. Od tysięcy lat ludzie starali się odkryć sposoby pomiarów temperatury powietrza oraz zjawisk atmosferycznych. Podstawowymi parametrami, które w prosty sposób są w stanie opisać pogodę są: temperatura, ciśnienie, prędkość oraz kierunek wiatru. Jeden z pierwszych opisów zjawisk pogodowych możemy spotkać w dziele napisanym przez Arystotelesa noszącym tytuł „Meteorologica” (pochodzi on z około 340 roku p.n.e.).<sup>1</sup> Oczywistym jest to, że metody pomiarów zjawisk atmosferycznych w starożytności polegały głównie na lokalnych obserwacjach i były one zdecydowanie mniej dokładne niż te które są dokonywane ówczesnie. Przykładem takich lokalnych obserwacji i prób przewidywań pogodowych w dawnych czasach może być zjawisko zachodzącego czerwonego słońca, które w większości przypadków było traktowane jako zapowiedź dobrej pogody kolejnego dnia. Wiedza o pogodzie oparta na lokalnych obserwacjach praktykowana była przez setki lat – było tak, aż do 1837 roku kiedy to wynaleziono telegraf. Wynalazek ten był początkiem nowoczesnego rozwoju prognozowania pogody<sup>2</sup>.

W dzisiejszych czasach mierzenie parametrów meteorologicznych jest znacznie łatwiejsze. Pomiar ciśnienia atmosferycznego na stacjach meteorologicznych odbywa się za pomocą barometru. W Polsce powszechnie stosowaną skalą do pomiaru temperatur jest skala Celsjusza, a w Stanach Zjednoczonych – skala Fahrenheita. Prędkość wiatru (podawana w m/s lub km/h, jak i opisywana przez skalę Beauforta) oraz kierunek wiatru są kolejnymi bardzo ważnymi składnikami pogody. Do ich pomiarów służy wiatromierz (inaczej: anemometr), który na stacjach meteorologicznych umieszczany jest na specjalnych masztach. Im większą mamy różnicę ciśnień, tym większą możemy zaobserwować prędkość wiatru. Istotnym jest tutaj również zwrócenie uwagi na terminologię, ponieważ meteorolodzy podając kierunek wiatru mają na myśli to z której strony on wieje. Wartym wspomnienia jest również fakt, że technologia wciąż idzie do przodu. Obecnie w bardzo łatwy sposób każdy z nas może stworzyć sobie swoją własną stację meteorologiczną – między innymi można do tego wykorzystać mikrokontrolery.

---

<sup>1</sup> Jan Tamulewicz: **Wielka encyklopedia geografii świata** – tom V. Poznań: Wydawnictwo Kurpisz, 1997, s. 269-285

<sup>2</sup> Michał Heller, Tadeusz Pabjan: **Elementy filozofii przyrody**. Kraków: Copernicus Center Press, 2014

## **1.1. Cel pracy i założenia projektu**

Celem pracy jest zaprojektowanie energooszczędnej stacji pogodowej, która może podłączyć się do sieci i wysyłać informacje na urządzenie mobilne. Pierwszym krokiem było wybranie warunków pogodowych, które stacja pogody będzie mierzyć. Wybrane zostały:

- Temperatura powietrza
- Ciśnienie atmosferyczne
- Kierunek wiatru
- Prędkość wiatru

Ponadto stacja ma pobierać jak najmniej energii tak aby zasilanie z akumulatorów doładowywanych z panelu fotowoltaicznego wystarczało na ciągłą pracę instalacji. Gdy funkcje zostały określone następnym krokiem było dobranie odpowiedniego mikrokontrolera oraz czujników, które pozwalają nam mierzyć określone warunki pogodowe. Stacja w założeniu ma stać na zewnątrz i ma być odporna na warunki atmosferyczne, więc została umieszczona w odpowiedniej obudowie z otworami na czujniki zabezpieczonymi uszczelkami. Stacja swoją energię czerpie z źródła prądu jakim jest bateria litowo-jonowa. Żeby przedłużyć żywotność baterii, ładowanie zapewnia panel fotowoltaiczny. W dalszych rozdziałach został opisany proces powstawania projektu.

## **1.2. Gotowe rozwiązania stacji pogodowych**

W tym rozdziale postaram się pokazać i krótko omówić kilka wybranych rozwiązań, które może zobaczyć na półkach sklepowych lub witrynach sklepów internetowych. Niestety na rynku jest mało dostępnych produktów, które spełniają wszystkie wyżej określone funkcje, więc na potrzeby projektu skupiłem się na takich stacjach, które łączą się z urządzeniem mobilnym. Stacje zostały również wybrane pod względem cenowym – jedna tańsza druga droższa. Wybrane produkty<sup>3</sup>:

---

<sup>3</sup> Produkty ze strony sklepu EuroRTVAGD euro.com

## Stacja pogodowa Meteo SP73 Smart WiFi



Rysunek 1. Stacja pogodowa Meteo SP73 Smart WiFi

Stacja ma możliwość dokładnego mierzenia temperatury zewnętrznej i wewnętrznej. Posiada również funkcję mierzenia ciśnienia oraz wilgotności powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego. Nie posiada funkcji mierzenia prędkości oraz kierunku wiatru. Stacja wyświetla wyniki pomiarów na kolorowym wyświetlaczu, ale ma również możliwość podłączenia się do WiFi i wyświetlenia odczytów pomiarów na urządzeniu mobilnym dzięki aplikacji LivingSense. Stacja ma również funkcje przewidywania pogody na najbliższe 24 godziny. Zasilanie wyświetlacza jest sieciowe, a zewnętrznego czujnika jest na baterie 2x AA. Cena to około dwieście złotych.

## Stacja Neatmo Weather Station



Rysunek 2. Stacja Neatmo Weather Station

Stacja ma bardzo ładny, elegancki design oraz funkcje:

- Pomiaru temperatury
- Pomiar wilgotności powietrza
- Pomiar ciśnienia atmosferycznego
- Prognoza pogody do siedmiu dni do przodu
- Pomiar wielkości opadów
- Pomiar stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniu

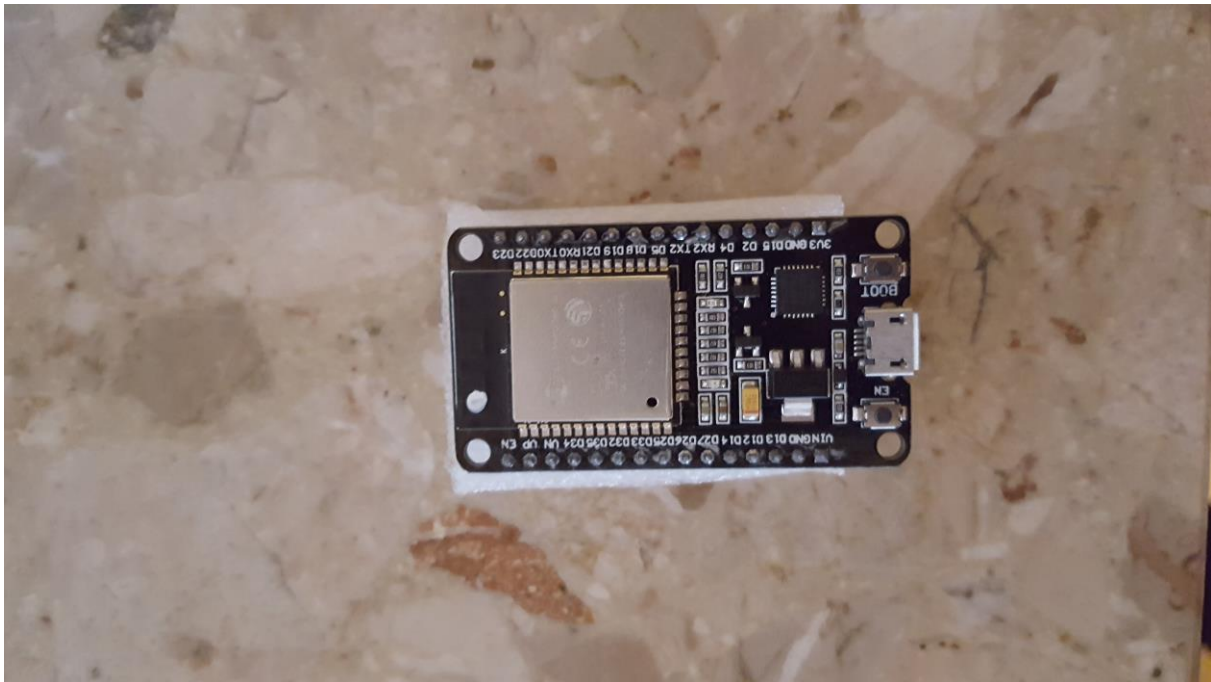
Niestety stacja ta również nie mierzy kierunku oraz prędkości wiatru. Neatmo Weather Station może pokazywać odczyty pomiarów w aplikacji mobilnej jak również za pomocą wskaźnika laserowego, który wyświetla wyniki na ścianie. Zasilanie modułu wewnętrznego jest sieciowe, a zewnętrznego to dwie baterie AAA. Cena to około siedemset sześćdziesiąt złotych.

## 2. Dobór podzespołów i środowisko pracy.

W tym rozdziale zostanie opisane jakie komponenty zostały dobrane do stacji pogodowej oraz środowisko w jakim powstał projekt. Pod uwagę przy wyborze podzespołów zostały wzięte funkcje jakie ma spełniać stacja, założone w celu projektu.

### 2.1. Wybór mikrokontrolera.

Na wybór mikrokontrolera największy wpływ mają dwie funkcje: energooszczędność i możliwość łączenia się do sieci WiFi oraz BlueTooth. Najlepszym wyborem spełniającym te kryteria okazał się mikrokontroler ESP32.



Rysunek 3. Mikrokontroler ESP32 w wersji developerskiej

Jest to układ SoC (System-on-a-Chip) produkowanym przez chińską firmę Espressif Systems. Układ ten jest następcą układu ESP8266 i charakteryzuje się większą mocą obliczeniową dzięki użyciu procesora o taktowaniu 240 MHz. Nowością także jest umieszczenie w układzie czujnika dotyku, czujnika Halla, interfejs CAN oraz I2S. Specyfikacja dotycząca modułu WiFi i zasilania mikrokontrolera:

- Komunikacja WiFi:
  - standard 802.11 b/g/n 2,4 GHz,
  - prędkość transmisji do 150 Mb/s,
  - zabezpieczenia WiFi: WEP, WPA/WPA2, PSK/Enterprise, AES / SHA2 / Elliptical Curve Cryptography / RSA-4096.
- Zasilanie:
  - napięcie pracy: 2,3 – 3,6 V,
  - napięcie zasilania: 4,8 – 12 V,
  - maksymalny pobór prądu: 800 mA.

System jest wyposażony również w różne tryby oszczędzania energii:

- Active Mode
- Modem Sleep Mode
- Light Sleep Mode
- Deep Sleep Mode
- Hibernation Mode

Tryb Active czyli tryb normalny. W tym trybie wszystko jest aktywne a konsumpcja energii elektrycznej znajduje się na najwyższym poziomie. Aktywne podzespoły to:

- WiFi
- Bluetooth
- Radio
- Rdzeń ESP32
- ULP procesor
- Podzespoły obwodowe
- RTC

Konsumpcja energii elektrycznej jest na poziomie 160-260 mAh.

W trybie Modem Sleep czynne podzespoły to:

- Rdzeń
- ULP
- RTC

Reszta podzespołów jest wyłączona. Konsumpcja energii waha się między 3mAh a 20mAh w zależności od prędkości taktowania.

Żeby utrzymać komunikację Bluetooth/WiFi z procesorem podzespoły budzą się zgodnie z wcześniej zdefiniowanymi interwałami. Nazywa się to wzorcem snu (association sleep pattern)

Podczas tego wzorca tryby przełączają się między Active a Modem Sleep.



Podczas trybu Light Sleep system działa podobnie jak w trybie Modem Sleep, czyli podąża za wzorcem snu. Różnica polega na tym, że większość RAM'u i procesora jest poddana technice clock gating. W tym trybie procesor nie jest taktowany, podczas gdy RTC i ULP koprocesor nadal działają. To ogranicza konsumpcję energii elektrycznej przez system do 0,8mAh

W trybie Deep Sleep procesor, większość RAM'u i wszystkie wyjścia cyfrowe są wyłączone. Jedyne podzespoły które nadal są zasilane to kontroler RTC, wyjścia RTC, ULP i pamięć RTC (szybka i wolna). Konsumpcja energii w tym stanie to ok. 0.15mAh kiedy ULP jest włączony i 10μAh kiedy jest wyłączony.

Podczas tego trybu procesor jest wyłączony, podczas gdy koprocesor pobiera dane z czujników i budzi główny system, bazując na danych z czujników. Ten wzorzec snu jest znany jako ULP sensor-monitored pattern. Główna pamięć systemu jest wyłączona, więc nie można odtworzyć wcześniej przechowywanych danych.

Podczas trybu Hibernacji wszystko jest wyłączone prócz zegara RTC, ale nie mamy możliwości otrzymywania jakichkolwiek danych podczas tego trybu. Wybudzenie systemu następuje po odmierzeniu czasu przez zegar.

Najlepszym wyborem dla projektu stacji pogodowej okazał się tryb Deep Sleep. Przyczyną tego jest, że stacja będzie miała jedno ograniczone źródło zasilania, a ten tryb zapewnia minimalne wykorzystanie energii ze spełnieniem funkcji potrzebnych do działania stacji. Stacja ma wybudzić się ze snu, wykonać pomiary, przesłać dane i dalej czuwać.

## 2.2. Dobór czujników

Czujniki muszą pozwalać na odczytywanie parametrów pogodowych takich jak:

- Temperatura powietrza
- Ciśnienie atmosferyczne
- Kierunek wiatru
- Prędkość wiatru

Dotatkowym parametrem, dzięki któremu można było dobrać odpowiednie czujniki jest napięcie pracy mikrokontrolera, czyli nie przekraczające 3,6V. Poniżej zostały przedstawione wybrane do stacji czujniki:

### 2.2.1. Czujnik ciśnienia oraz temperatury powietrza BMP280

Do pomiaru dwóch parametrów pogodowych, czyli temperatury powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego służy jeden czujnik – BMP280.



Rysunek 4. Czujnik ciśnienia oraz temperatury powietrza BMP280

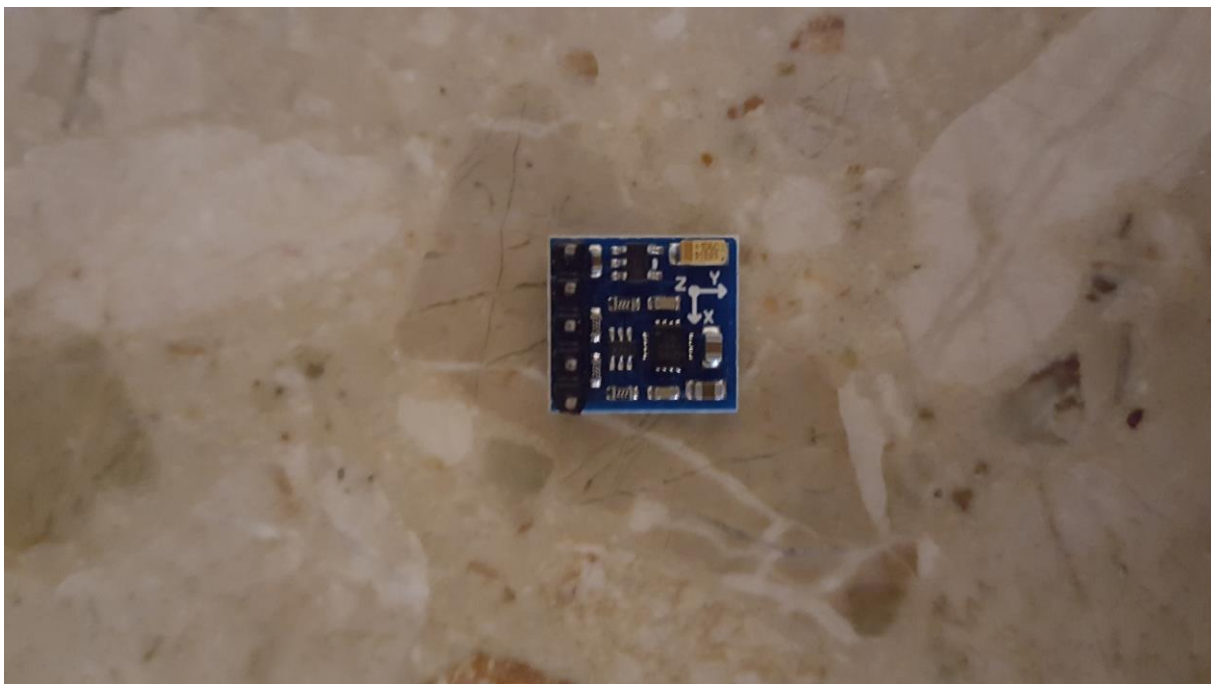
Parametry techniczne:

- Napięcie zasilania: 3,3V
- Pobór prądu: < 2mA
- Czujnik ciśnienia atmosferycznego BMP280
- Zakres pomiaru ciśnienia: 300 - 1100hPa
- Dokładność pomiaru (w zakresie 950...1050 hPa): 1hPa
- Sygnały wyprowadzone na złącze 1x6 (raster 2,54mm)
- Dwa otwory mocujące o średnicy 3mm
- Zakres temperatur pracy: -40 - +85°C
- Wymiary modułu: 16mm x 12mm x 3mm
- Magistrala I2C, lub SPI

Niska cena i kompaktowy rozmiar sprawiają, że ten czujnik jest idealnym wyborem do stacji pogodowej. Ponadto komunikacja po magistrali I2C pozwala nam na komunikowanie się zaledwie poprzez dwa piny.

### 2.2.2. Kompas trzyosiowy

Do pomiaru prędkości wiatru wybrany został czujnik QMC5883L . Jest to trzyosiowy magnetometr cyfrowy, który pozwala na pomiar pola magnetycznego w zakresie  $\pm 8$  gaussa z rozdzielczością 5 miligausa.

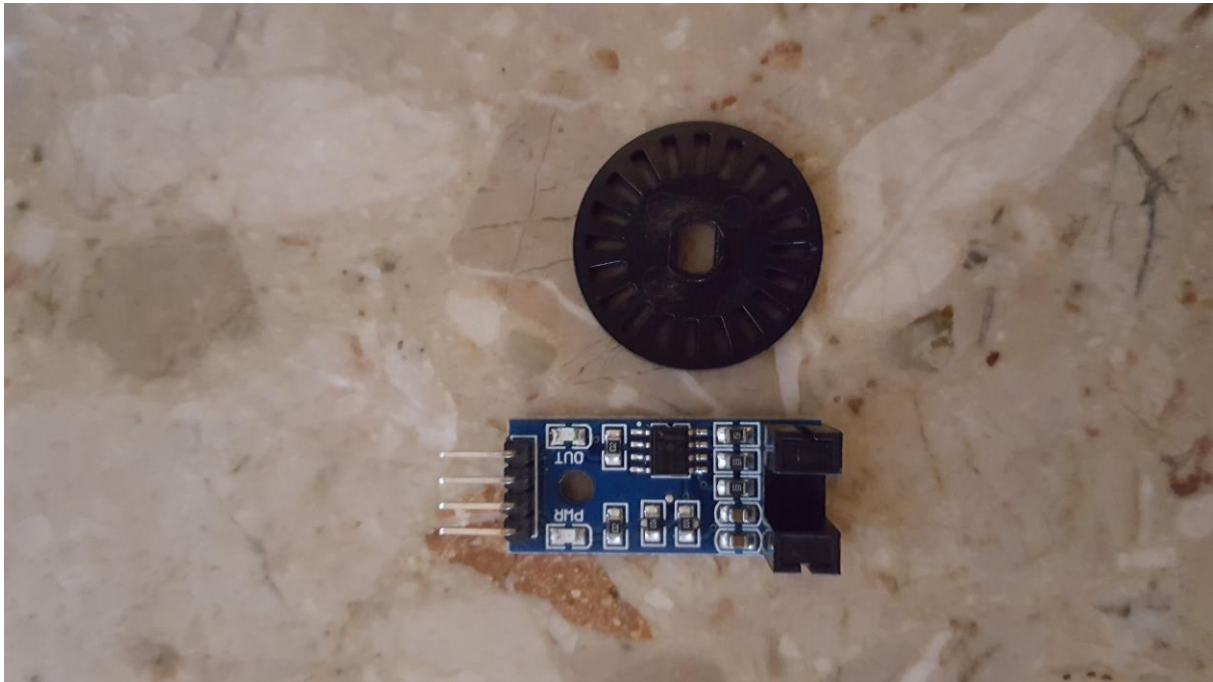


Rysunek 5. QMC5883L - magnetometr 3-osiowy

Układ pracuje w zakresie 3,3V do 5V, czyli w zakresie napięcia pracy mikrokontrolera ESP32. Do komunikacji magnetometr wykorzystuje magistrale I2C, więc umożliwia łatwe połączenie. Zazwyczaj w projektach wykorzystywany jest jako cyfrowy kompas, jednak dzięki dostawieniu magnesu neodymowego w odpowiedniej odległości doczepionego do wiatrowskazu jest w stanie pokazywać kierunek wiatu.

### 2.2.3. Moduł szczelinowy z płytką enkodera

Pomiar prędkości wiatu zapewni moduł szczelinowy z komparatorem LM393 w połączeniu z płytką enkodera. Moduł ten służyć może również do zliczania szybkości obrotowej silników lub zliczania impulsów. Moduł ten jest tak napawdę transoptorem szczelinowym, który wysyła sygnał w zależności od tego czy szczelina jest otwarta czy zasłonięta.



Rysunek 6. Moduł szczelinowy z komparatorem LM393 oraz płytka enkodera

Zakres pracy czujnika jest od 0V do 5V. Moduł może komunikować się poprzez dwa wyjścia:

- Cyfrowe
- Analogowe

Do projektu zostało wykorzystane wyjście cyfrowe.

#### 2.2.4. Ogniwo fotowoltaiczne



Rysunek 7. Ogniwo fotowoltaiczne

Rysunek powyżej przedstawia dobrane do układu ogniwo fotowoltaiczne o wymiarach 136mm długości, 110mm szerokości i 3mm grubości. Panel ma moc 2W i napięcie wyjściowe 6V. Do płytki przylutowana została przetwornica DC DC z wyjściem USB jako ładowarka dla baterii litowo-jonowej o pojemności 5000mAh.

### 2.2.5. Środowisko Arduino IDE

Środowisko, które wybrałem do tworzenia oprogramowania stacji pogodowej to aplikacja ArduinoIDE (Arduino Integrated Development). Jest to multiplatformowa aplikacja napisana w językach C i C++. Stworzona została z myślą o pisaniu i przesyłaniu programów dla płytek Arduino, ale jest także kompatybilna z płytkami innych firm, w tym z płytką ESP32 firmy Espressif. Wystarczy pobrać informacje o płytce po podłączeniu jej do odpowiedniego portu, lub skorzystać z menadżera płytek, w którym możemy pobierać takie informacje manualnie. By tworzyć programy mniej lub bardziej zaawansowane wystarczy użyć wgranych bibliotek albo dodać nowe. Dodawanie nowej biblioteki jest bardzo łatwe: można to zrobić za pośrednictwem programu pobierając odpowiednią bibliotekę przez menadżer bibliotek lub dodać ją manualnie. Aby dodać bibliotekę manualnie trzeba ją najpierw pobrać z internetu zapakowaną w pliku .zip. Po pobraniu trzeba tylko kliknąć funkcję w programie ArduinoIDE „Dołącz bibliotekę .ZIP...”. Lista bibliotek użytych w projekcie znajduje się poniżej wraz z krótkim opisem do czego służą.

```
#include <WiFi.h>
```

Ta biblioteka zapewnia działanie modułu WiFi.

```
#include <Preferences.h>
```

Ta biblioteka umożliwia podłączenie się do innej sieci WiFi.

```
#include <BluetoothSerial.h>
```

Dzięki tej bibliotece możliwa jest komunikacja Bluetooth.

```
#include <Wire.h>
```

Ta biblioteka odpowiada za obsługę portu szeregowego.

```
#include <HTTPClient.h>
```

```
#include <WiFiClient.h>
```

Te dwie biblioteki wspólnie pozwalają na wysyłanie danych do bazy danych.

```
#include <Adafruit_BMP280.h>
```

Tą biblioteką obsługuje się czujnik BMP280.

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
```

Dzięki tej bibliotece możliwa jest obsługa innych bibliotek potrzebnych do działania czujników.

```
#include <timer.h>
```

Ta biblioteka potrzebna jest do mierzenia kierunku wiatru.

```
#include <QMC5883LCompass.h>
```

Tą biblioteką obsługuje się moduł QMC5883L czyli wspomniany wcześniej kompas trzyosiowy.

### 3. Wykonanie stacji pogodowej

Mając już wiedzę jakie komponenty zostaną użyte w projekcie, można przejść do opisu ich działania w projekcie oraz do opisanie kodu aktywującego działania czujników oraz podzespołów. Każdy z parametrów (prędkość wiatru, temperatura powietrza, kierunek powietrza i ciśnienie atmosferyczne) został zaprogramowany oddzielnie i dla każdego wykonano test, najpierw oddzielnie, później razem. W tym rozdziale jest opisane jak każdy z wyżej wymienionych elementów znalazł swoje miejsce w projekcie oraz jaka jest struktura kodu każdego podzespołu.

#### 3.1. Pomiar temperatury powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego.

Jak już wcześniej zostało wspomniane, do pomiaru aż dwóch parametrów pogodowych czyli temperatury powietrza i ciśnienia atmosferycznego wykorzystany został tylko jeden czujnik: BMP280. Poniżej znajduje się opis kodu obsługujący ten komponent:

Najpierw trzeba zainicjować połączenie czujnika BMP280 po magistrali I2C. Adres tego komponentu na magistrali to 0x76. Żeby to zrobić używamy tego kodu:

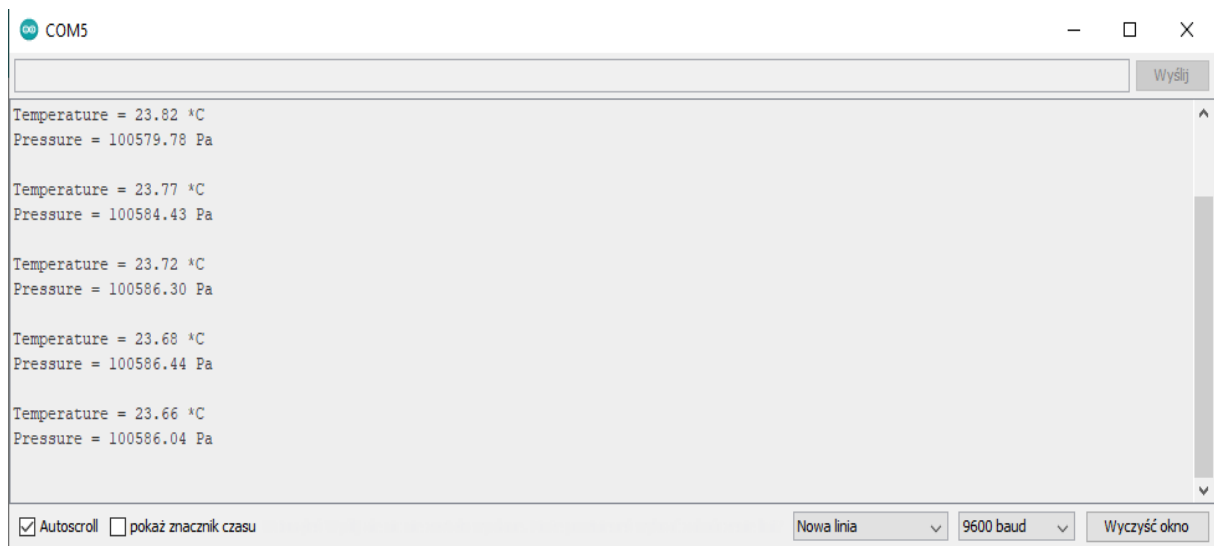
```
if (!bmp.begin(0x76)) {  
  Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor, check wiring!"));  
  while (1);  
}
```

W tej części kodu program inicjalizuje czujnik działanie temperatury powietrza i ciśnienia atmosferycznego. Jeżeli system nie może wykryć czujnika, to na porcie monitoru szeregowego wyświetli się komunikat z prośbą o sprawdzenie podłączenia. Poniżej pokazana jest kod, który zapewnia nam odczyt parametrów z czujnika, czyli temperature mierzoną w stopniach celjusza oraz ciśnienie mierzone w pascalach. Kod umożliwia także wyświetlenie tych parametrów na monitorze portu szeregowego:

```
Serial.print("Temperature = ");  
Serial.print(bmp.readTemperature());  
Serial.println(" *C");  
  
Serial.print("Pressure = ");  
Serial.print(bmp.readPressure());  
Serial.println(" Pa");
```

Po skompilowaniu takiego programu i zainstalowaniu go na mikrokontrolerze, w monitorze portu szeregowego można znaleźć taki odczyt z czujnika:





**Rysunek 8. Odczyt z monitora portu szeregowego dla czujnika BMP280**

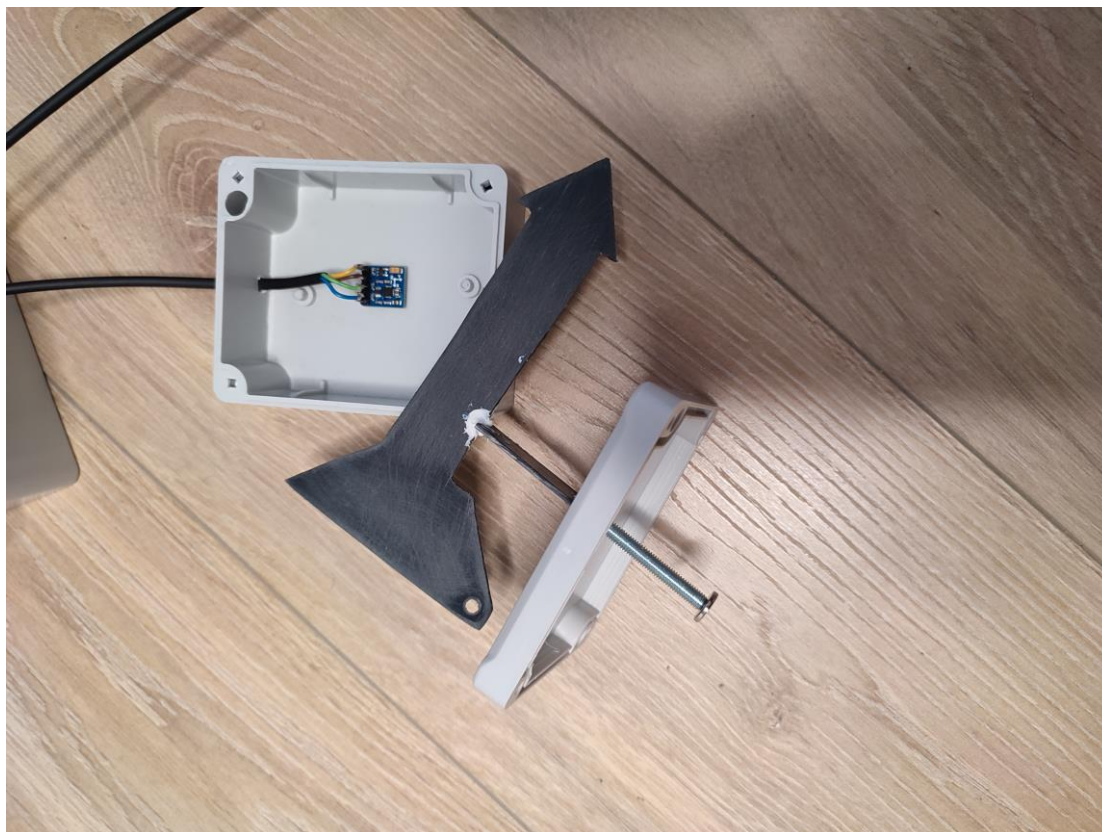
Jak widać na powyższym zrzucie ekranu, test został wykonany pomyślnie.

### **3.2. Pomiar kierunku wiatru**



**Rysunek 9. Wiatrowskaz z zewnątrz**





Rysunek 10. Wiatrowskaz wewnątrz

Pomiar kierunku wiatru odbywa się przy użyciu magnetometru trzyosiowego QMC5883L, wiatrowskazu i magnesu neodymowego. Założeniem jest wykorzystanie zasady jaka działa w kompasie: kompas zawsze wskazuje północ. Magnetometr posiada 3 osie: x, y oraz z. Po ustawieniu osi z prostopadle do ziemi, osie x oraz y dają pole na których jest opisany okrąg o łącznym kącie 360°. Magnes neodymowy przystawiony w odpowiedniej odległości od czujnika daje pole magnetyczne o odpowiedniej sile. Biegun północny magnesu jest ustawiony równo z dziobem wiatrowskazu i znajduje się na jego nóżce. Wiatrowskaz obraca się, a wraz z nim magnes neodymowy doczepiony do nóżki wiatrowskazu. Kompas odczytuje gdzie znajduje azymut<sup>4</sup> względem bieguna północnego magnesu, a okręgiem na osiach x, y. Minusem takiego rozwiązania jest to, że oś x czujnika trzeba ustawić dokładnie skierowaną na północ.

Ta linijka kodu inicjuje działanie czujnika jako kompasu:

```
compass.init();
```

W tej części zadeklarowana została zmienna oznaczająca azymut jako a. Dodatkowo ta część odpowiada za odczyt wskazań magnetometru:

```
int a;  
compass.read();  
a = compass.getAzimuth();
```

---

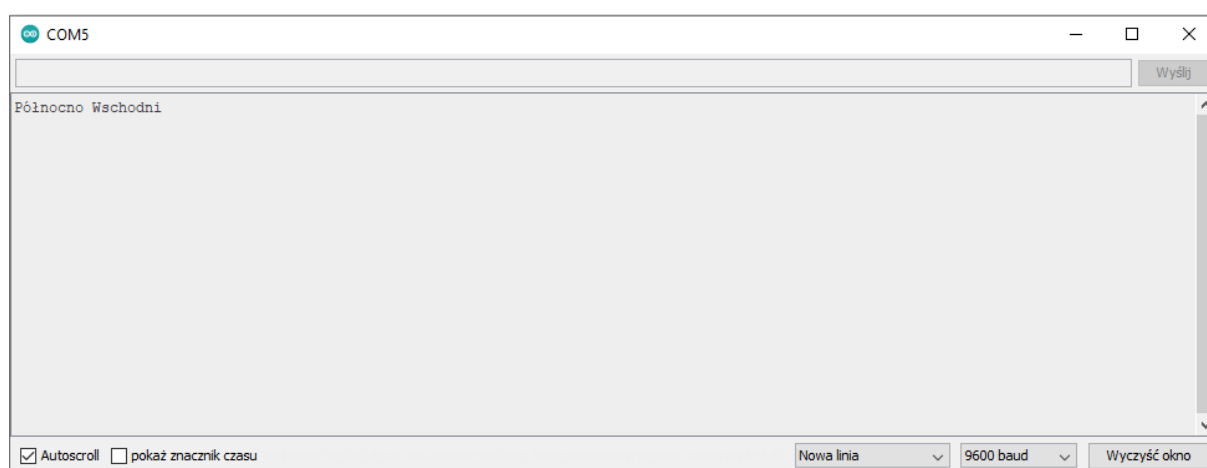
<sup>4</sup> Azymut to kąt między danym kierunkiem, a północą.

Kolejna część programu przypisuje odpowiednią wartość azymutu pod kierunek wiania wiatru, np. jeżeli azymut jest między kątem 340°, a kątem 20° to wiatr wieje w kierunku północnym.

```
String winddirection;

if ((a > 340) && (a < 20))
{
    winddirection = "Północny";
}
if ((a > 19) && (a < 79))
{
    winddirection = "Północno Zachodni";
}
if ((a > 80) && (a < 125))
{
    winddirection = "Zachodni";
}
if ((a > 125) && (a < 159))
{
    winddirection = "Południowo wschodni";
}
if ((a > 160) && (a < 200))
{
    winddirection = "Południowy";
}
if ((a > 199) && (a < 249))
{
    winddirection = "Południowo wschodni";
}
if ((a > 250) && (a < 290))
{
    winddirection = "wschodni";
}
if ((a > 289) && (a < 339))
{
    winddirection = "Północno wschodni";
}
```

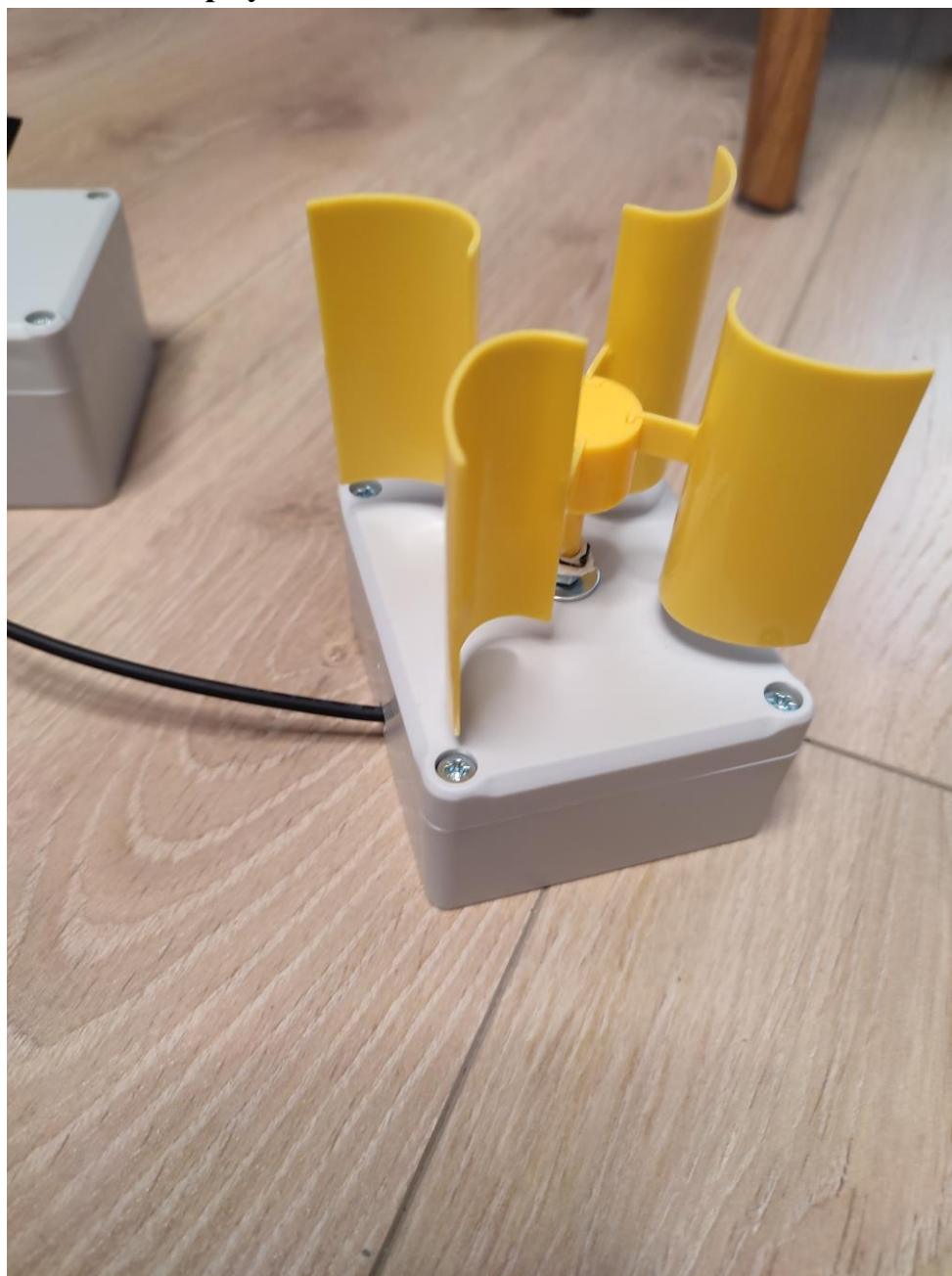
Poniżej znajduje się zrzut ekranu danych w monitorze portu szeregowego prezentujący test części kodu dotyczącej kierunku wiatru:



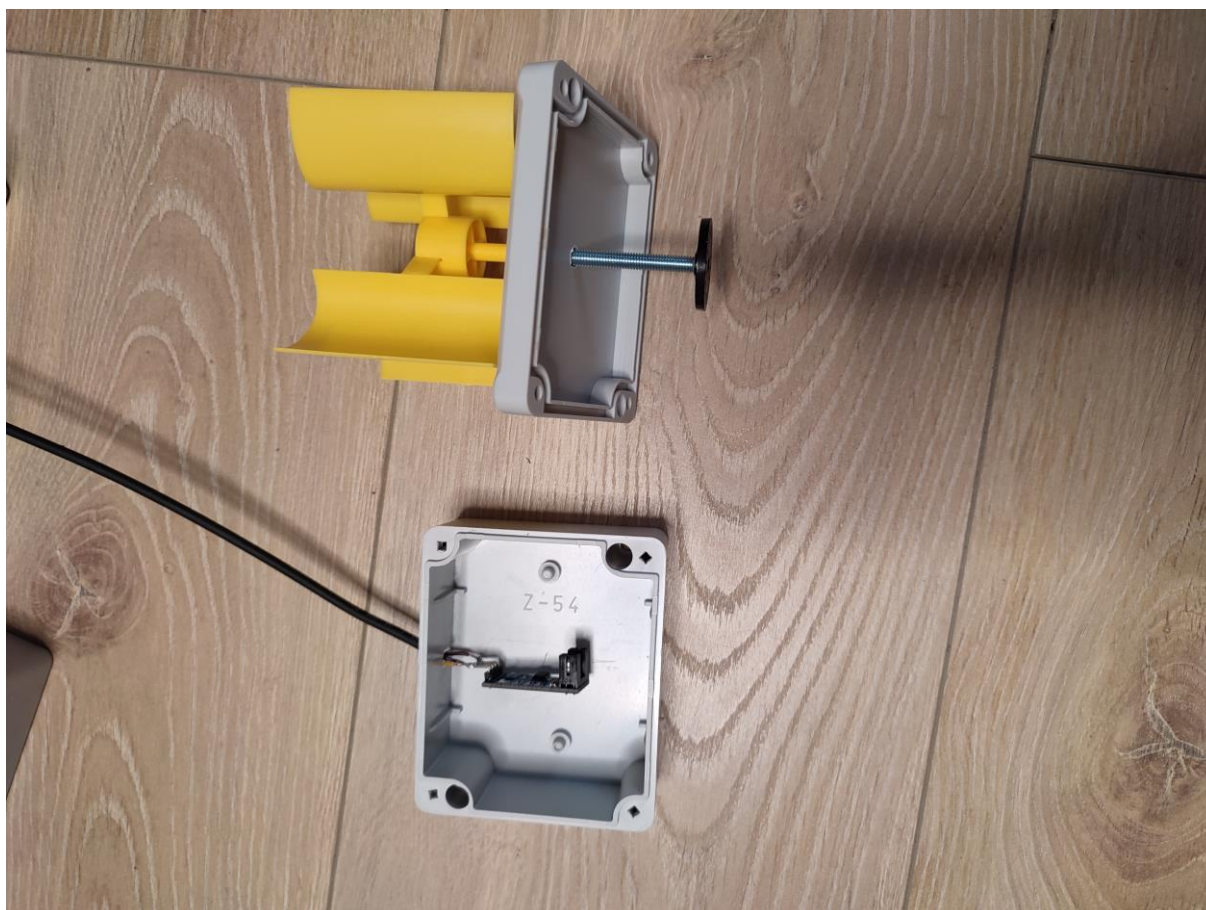
**Rysunek 11. Test wiatrowskazu**

Test wykazał, że wiatr wieje w kierunku północno-wschodnim.

### 3.3. Pomiar prędkości wiatru



Rysunek 12. Wygląd zewnętrzny wiatromierza



Rysunek 13. Wygląd wewnętrzny wiatromierza

Do pomiaru prędkości wiatru wykorzystany jest moduł szczelinowy z komparatorem LM393, płytką enkodera oraz śmigło pionowe. Płytkę enkodera znajduje się na „nóżce” śmigła pionowego i jest włożona w szczelinę modułu szczelinowego. Śmigło jest poruszane przez wiatr i podczas obrotu obraca również płytkę enkodera, raz przysłaniając, raz odsłaniając szczelinę. Komparator zlicza ile razy szczelina została odsłonięta. Płytkę enkodera ma dwadzieścia linii, więc jeżeli komparator doliczy do dwudziestu to płytkę wykonała jeden obrót. Prędkość wiatru jest liczona w kilometrach na godzinę, gdyż prędkość linearna koła (rpm) może być przekształcona na km/h dzięki temu wzorowi:

$$V\left(\frac{km}{h}\right) = \frac{3600}{1000} * r * \frac{2\pi}{60} * N(rpm) \quad (1.1)$$

co po uproszczeniu daje nam

$$V\left(\frac{km}{h}\right) = \frac{3}{25} * \pi * r * N(rpm) \quad (1.2)$$

Gdzie:

- V = prędkość linearna w kilometrach na godzinę
- r = promień koła
- N = ilość obrotów koła na minutę



```

const int LM393 = 27;
int counter = 0;

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(LM393), count, RISING);
timer.setInterval(60000);
timer.setCallback(KMH);
timer.start();

```

Pierwsza część kodu polega na przypisaniu pinu cyfrowego, na którym będzie wywoływana funkcja `attachInterrupt`. Jest to pin cyfrowy GPIO27 do którego podłączony jest moduł szczelinowy. Funkcja ta pozwala na określenie pinu, na którym dojdzie do zmiany (w tym wypadku do odsłonięcia szczeliny) wywoływane będzie zdarzenie. W tej części ustawia się też czas trwania pomiaru, który wynosi sześćdziesiąt sekund.

```

void count() {
    counter++;
}

```

Zdarzenie, które wykonuje ta funkcja pozwala na sumowanie każdego przysłonicia szczeliny przez płytkę enkodera.

```

void KMH()
{
    int rpm = (counter/20);
    float p = 0.0048984; //uproszczony wynik ze wzoru
    float kmh = (p*rpm);

    Serial.println(kmh);
    counter = 0;
}

```

Na końcu jest opis funkcji przeliczającej obroty na minutę na kilometry na godzinę. Zmienna `p` reprezentuje wynik działania  $\frac{3}{25} * \pi * r$ , gdzie promień płytki enkodera wynosi 13mm, a liczba PI została przyjęta jako 3,14. Poniżej znajduje się zrzut ekranu z wynikiem z ekranu monitoru portu szeregowego:



Rysunek 14. Wynik pomiaru prędkości wiatru.

Jak widać powyżej w trakcie trwania testu wiatr wiał z prędkością 0,35 kilometra na godzinę.

### 3.4. Przesyłanie pomiarów

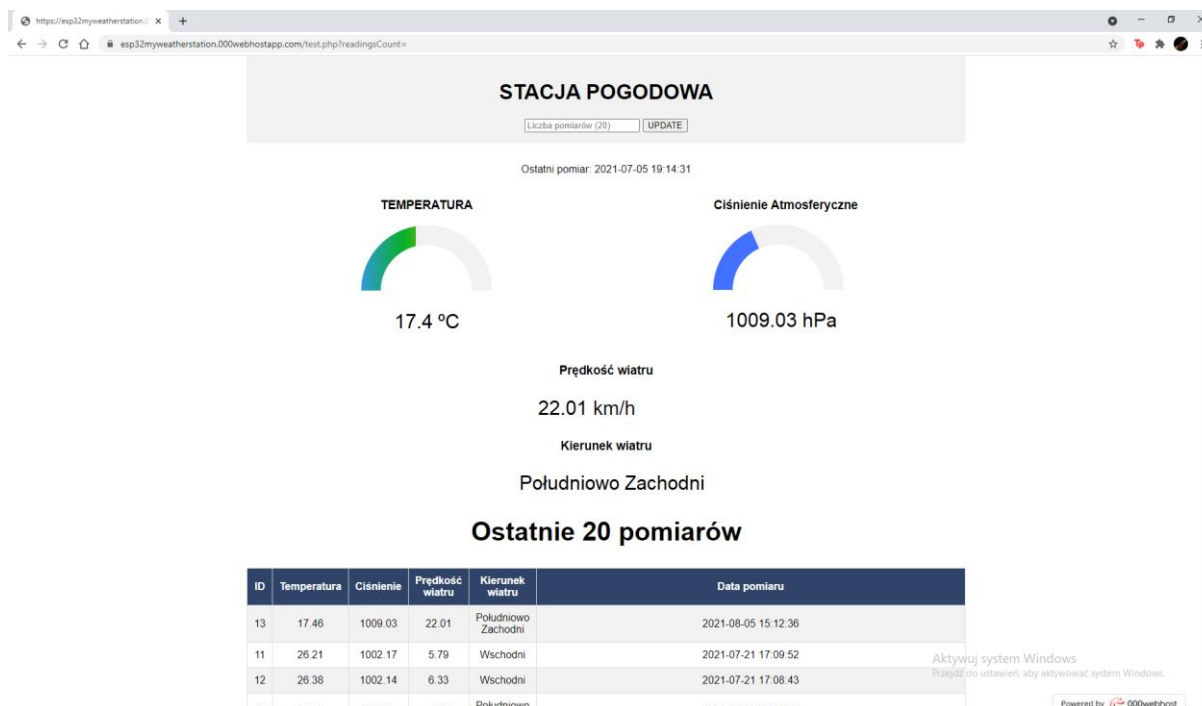
System po wykonaniu pomiarów wysyła je na serwer. W ramach projektu zdecydowałem się na hosting 00webhost.com za darmo. Do dyspozycji w darmowej wersji jest 300MB pamięci, możliwość stworzenia i administracji bazy danych MySQL Database (przy pomocy phpMyAdmin) oraz wsparcie dla języka php. Odbywa się to w następujący sposób:

```
const char*servername =  
"http://esp32myweatherstation.000webhostapp.com/post-esp-data.php";  
  
String apiKeyVal = "96427be9aa8b";
```

Na samym początku zadeklarowana została nazwa serwera, na który wysyłane są dane oraz klucz API (klucz może być dowolny ale musi się zgadzać z tym na serwerze). Następnie system sprawdza czy jest połączenie z siecią WiFi:

```
if(WiFi.status()== WL_CONNECTED){  
    WiFiClient client;  
    HTTPClient http;  
  
    http.begin(client, servername);  
  
    http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");  
  
    String httpRequestData =  
    "api_key=" + apiKeyVal + "&value1=" + String(bmp.readTemperature())  
    + "&value2=" + String(bmp.readPressure()/100.0F)  
    + "&value3=" + String(kmh) + "&value4=" + String(winddirection) + "";  
  
    Serial.print("httpRequestData: ");  
    Serial.println(httpRequestData);  
  
    int httpResponseCode = http.POST(httpRequestData);  
  
    if (httpResponseCode>0) {  
        Serial.print("HTTP Response code: ");  
        Serial.println(httpResponseCode);  
    }  
}
```

Jeżeli połączenie zostaje wykryte to przy wykorzystaniu nazwy serwera oraz klucza API, pomiary zostają wysłane za pomocą metody POST. Jeżeli wyniki pomiarów zostały wysłane pomyślnie monitor portu szeregowego wyświetli: httpResponseCode 200. Pomiary zapisują się w formie tabeli w bazie danych na serwerze hostowanym przez 000webhost.com, gdzie można zarządzać nimi przy pomocy phpMyAdmin. Przy php, css oraz html zaprojektowana została domena, na której wyświetlane są wyniki pomiarów w formie tabeli oraz ostatnie pomiary w formie graficznej. Na rysunku poniżej przedstawiony jest wygląd domeny:



Rysunek 15. Wygląd strony, na której wyświetlone są wyniki pomiarów

Dodatkową funkcją dodaną do strony jest możliwość filtrowania ilości ostatnich pomiarów wyświetlanych w tabeli u dołu strony. Służy do tego pasek u góry strony, gdzie możemy wpisać dowolną ilość wierszy w tabeli jaką chcemy wyświetlić. Domyślne ustawienie wskazuje 20 ostatnich pomiarów jak w przypadku rysunku powyżej.

### 3.5. Konfiguracja stacji pogodowej za pomocą urządzenia mobilnego

Konfiguracja z urządzenia mobilnego odbywa się przez połączenie bluetooth i aplikację Serial Bluetooth Terminal. Aplikacja ta jest tak naprawdę liniowo zorientowanym terminalem wykorzystującym połączenie bluetooth do komunikacji lub konfiguracji mikrokontrolerów. Parametry, który można zmieniać w ustawieniach programu jest zmiana sieci WiFi na inną jeżeli zajdzie taka potrzeba. Zapewnia to stacji pogodowej działanie niezależnie od lokalizacji. Aplikacja po połączeniu mikrokontrolera z urządzeniem mobilnym przechodzi przez określone stany, żeby można zmieniać sieci WiFi. Aplikacja przechodzi przez każdy ze stanów po kolei:

- Stan początkowy – oczekiwanie na połączenie z urządzeniem
- Skanowanie w poszukiwaniu pobliskich sieci WiFi
- Ukończony skan
- Wprowadzone SSID
- W oczekiwaniu na hasło
- Hasło wprowadzone
- Łączenie z siecią
- Połączenie nieudane

Poniżej znajduje się deklaracja wymienionych wyżej stanów aplikacji oraz deklaracja domyślnego stanu jako żaden.

```
enum Wi-FiSetupStage { NONE, STARTED_SCAN, COMPLETED_SCAN, ENTERED_SSID, PASS_WAIT, ENTERED_PASS, CONNECT_WAIT, LOGIN_FAILED };
```

```
enum Wi-FiSetupStage Wi-FiStage = NONE;
```

Dla celów projektu połączenie internetowe jest inicjowane w systemie w inny sposób niż zazwyczaj się robi, a mianowicie nie jest stały adres sieci tylko przy każdym wybudzniu i zrealizowanym połączeniu bluetooth, urządzenie skanuje jakie sieci są dostępne w pobliżu. Poniższy kod w programie zapewnia taką funkcję:

```
void ScanWi-FiNetworks()
{
    Wi-Fi.mode(WIFI_STA);

    int n = Wi-Fi.scanNetworks();
    if (n == 0) {
        SerialBT.println("Nie znaleziono sieci");
    } else {
        SerialBT.println();
        SerialBT.print(n);
        SerialBT.println("Znaleziono sieci");
        delay(1000);
        for (int i = 0; i < n; ++i) {
            arraySSID[i + 1] = Wi-Fi.SSID(i);
            Serial.print(i + 1);
            Serial.print(": ");
            Serial.println(arraySSID[i + 1]);
            STRnetwork = i + 1;
            STRnetwork = STRnetwork + ": " + Wi-Fi.SSID(i) + " (Strength:" +
Wi-Fi.RSSI(i) + ")";
            SerialBT.println(STRnetwork);
        }
        Wi-FiStage = COMPLETED_SCAN;
    }
}
```

Ponadto, do konfiguracji potrzeba jeszcze funkcji, które zmieniają SSID oraz hasło do sieci wysłane z aplikacji na urządzeniu mobilnym były danymi rzeczywistymi użytymi w celu zalogowanie się do sieci Wi-Fi. Poniżej są przedstawione dwie funkcje w programie, które zapewniają takie działanie:

```
if (event == ESP_SPP_DATA_IND_EVT && Wi-FiStage == COMPLETED_SCAN) {
    int ClientWi-FiSSID_ID = SerialBT.readString().toInt();
    ClientWi-FiSSID = arraySSID[ClientWi-FiSSID_ID];
    Wi-FiStage = ENTERED_SSID;
}
```

Ta funkcja zapewnia, że SSID wysłane z aplikacji staje się SSID użytym podczas logowania do sieci internetowej.

```
if (event == ESP_SPP_DATA_IND_EVT && Wi-FiStage == PASS_WAIT) {
    ClientWi-FiPASSWORD = SerialBT.readString();
    ClientWi-FiPASSWORD.trim();
    Wi-FiStage = ENTERED_PASS;
}
```

Dzięki tej funkcji system używa do logowania hasło wprowadzonego w aplikacji mobilnej.



Określenie stanu w jakim znajduje się obecnie konfiguracja połączenia z siecią WiFi, zapewnia użycie funkcji switch:

```
switch (WiFiStage)
{
    case STARTED_SCAN:
        SerialBT.println("Skanowanie w poszukiwaniu sieci WiFi ");
        Serial.println("Skanowanie w poszukiwaniu sieci WiFi ");
        ScanWiFiNetworks();
        SerialBT.println("Proszę podać numer twojej sieci WiFi");
        WiFiStage = COMPLETED_SCAN;
        break;
```

W tym miejscu określony jest stan, kiedy system skanuje w poszukiwaniu pobliskich sieci internetowych. Jeżeli sieć zostanie znaleziona, to zostanie przypisany jej numer oraz zostanie wyświetlona w aplikacji na urządzeniu mobilnym lista znalezionych sieci WiFi wraz z komunikatem o podanie numeru sieci, do której użytkownik chce się połączyć.

```
        case ENTERED_SSID:
            SerialBT.println("Proszę podać hasło");
            Serial.println("Proszę podać hasło");
            WiFiStage = PASS_WAIT;
            break;
```

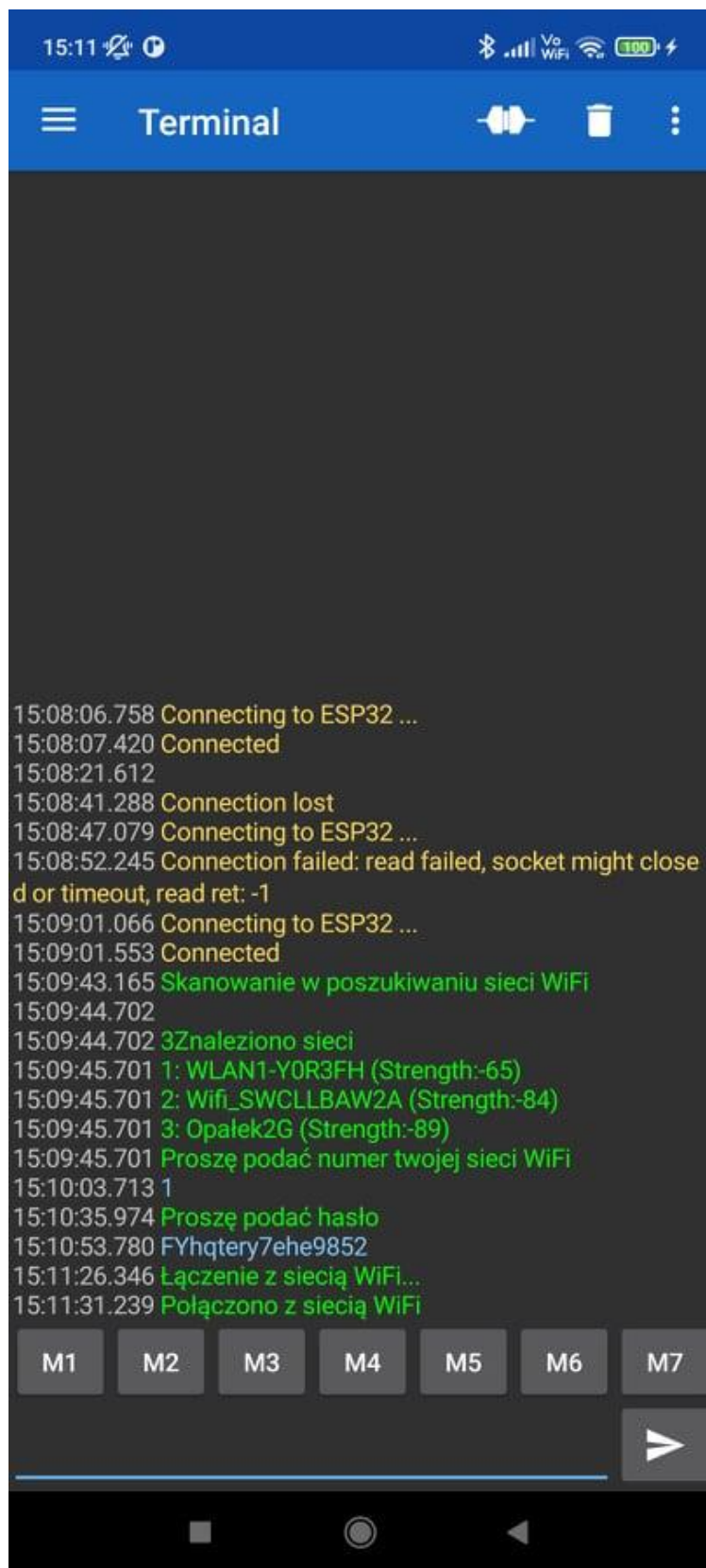
Kiedy zostanie podane ID sieci WiF, aplikacja poprosi o podanie hasła. Aplikacja wyczeka dopóki hasło nie zostanie podane.

```
        case ENTERED_PASS:
            SerialBT.println("Łączenie z siecią WiFi...");
            Serial.println("Łączenie z siecią WiFi...");
            WiFiStage = CONNECT_WAIT;
            preferences.putString("WiFi_SSID", ClientWiFiSSID);
            preferences.putString("WiFi_PASSWORD", ClientWiFiPASSWORD);
            if (initWiFi()) {
                SerialBT.println("Połączono z siecią WiFi");
                Serial.println("Połączono z siecią WiFi");
                BTDisconnect = true;
            } else {
                WiFiStage = LOGIN_FAILED;
            }
            break;
```

Po podaniu hasła w aplikacji, system zacznie inicjować połączenie z siecią internetową za pomocą wprowadzonych wcześniej do aplikacji danych. Jeżeli połączenie z siecią zostanie zrealizowane to połączenie bluetooth zostanie zerwane, a na ekranie urządzenia mobilnego zostanie wyświetlony komunikat „Połączono z siecią WiFi”.

```
        case LOGIN_FAILED:
            SerialBT.println("Połączenie nieudane");
            Serial.println("Połączenie nieudane");
            delay(2000);
            WiFiStage = STARTED_SCAN;
            break;
    }
```

Jeżeli program uruchomi tą część kodu, oznaczać to będzie, że nie udało się połączyć do sieci. Aplikacja wyświetli komunikat „Połączenie nieudane” i zostanie zainicjowany cały proces od nowa.



Rysunek 16. Konfiguracja połączenia za terminalu na urządzeniu mobilnym

Przy następnym wykonaniu pętli, system użyje ostatniego SSID i hasła wprowadzonych do aplikacji Serial Terminal.

### 3.6. Energooszczędność układu

Docelowo stacja pogodowa ma oszczędzać energię. Istotnym jest więc, żeby użyć któregoś z wymienionych w rozdziale o ESP32 trybów oszczędzania energii oraz zadbać by układ miał jak najwięcej energii na jak najdłużej. Dlatego do projektu został użyty tryb Deep Sleep oraz zostało zapewnione ładowanie baterii litowo-jonowej za pomocą panelu fotowoltaicznego.

#### 3.6.1. Tryb pracy mikrokontrolera ESP32 - Deep Sleep

Tryb Deep Sleep w ESP32 jest idealną funkcją dla projektu wolnostojącej stacji pogodowej. Układ ma spać przez pół godziny, następnie wybudzić się na jedną minutę, w tym czasie wykonać pomiary, wysłać na serwer i znów zasnąć.

```
#define uS_TO_S_FACTOR 1000000
#define TIME_TO_SLEEP 1800
```

W pierwszej kolejności został zdefiniowany mnożnik z mikrosekund na sekundy oraz czas na jaki mikrokontroler ma zasnąć. Czas na jaki system ma zasnąć to trzydzieści minut.

```
esp_sleep_enable_timer_wakeup(TIME_TO_SLEEP * uS_TO_S_FACTOR);
```

Ta linijka inicjuje wybudzenie ze snu mikrokontrolera. Jest to czas po jakim się wybudzi cały system i będzie wykonywać wszystkie założone funkcje.

```
esp_deep_sleep_start();
```

Ostatnia linijka kodu zmusza mikrokontroler do wejścia w tryb Deep Sleep, czyli każe mu zasnąć. Na potrzeby testu i zobrazowania jak mikrokontroler zasypia i się budzi, został napisany kótki program za pomocą wyżej wymienionych komend, w którym jest liczone ile razy system się wybudził oraz jaki był powód wybudzenia. Program miał zasnąć na pięć sekund, wybudzić się, wyświetlić wynik w monitorze portu szeregowego i znów zasnąć. Wyniki wyświetlają się w monitorze portu szeregowego.



Rysunek 17. Prezentacja trybu Deep Sleep

Jak widać powyżej mikrokontroler wybudził się i zasnął trzy razy. Za każdym razem został wybudzony poprzez zegar.

### 3.6.2. Doładowanie za pomocą ogniwa fotowoltaicznego

Całość układu została wyposażona w ogniwo fotowoltacne, które ma zapewniać doładowanie dla baterii litowo-jonowej. Do ogniwa została przylutowana przetwornica DC DC step down z wyjściem USB, która podaje prąd na wyjściu o napięciu 5V, czyli takim które zapewnia ładowanie baterii. Panel jest umieszczona na górnej pokrywie obudowy pod kątem 30 stopni dla jak największej wydajności. Ogniwo ma wymiary 136x110x3mm (wymiar są podane na odwrocie panelu), moc 2W o maksymalnej wydajności prądowej 330mAh i napięciu wyjściowym 6V co potwierdziły odczyty z multimetru.

### 3.6.3. Jak długo układ może działać?

Układ jest wyposażony w baterię litowo-jonową o pojemności 5000mAh. Bateria przed umieszczeniem w układzie została w pełni naładowana. Panel fotowoltaiczny, który zapewnia doładowanie baterii rocznie wyprodukuje około 3kWh ponieważ:

Pole panelu fotowoltaicznego wynosi:

$$136mm * 110mm = 0,001496m^2 \quad (2.1)$$

Gdzie:

136mm – wysokość płytki,

110mm – szerokość płytki.

Rocznie panel fotowoltaiczny powinien wyprodukować:

$$(0,001496 * 1000) * 20\% = 3kWh \quad (2.2)$$

Gdzie:

0,001496 – pole powierzchni panelu fotowoltaicznego w m<sup>2</sup>,

1000 – roczna produkcja kWh/m<sup>2</sup>,

20% - wydajność panelu.

Łącznie przez dobę układ (wraz z czujnikami) zużywa:

$$(13,4\mu A * 23,2h) + (264mA * 0,8h) = 0,212Ah \quad (2.3)$$

Gdzie:

13,4μA – natężenie prądu pobierane przez układ podczas trybu głębokiego snu,

23,2h – łączny czas, kiedy układ jest w trybie głębokiego snu,

264mA – natężenie prądu pobierane przez układ podczas wybudzenia,

0,8h – łączny czas, kiedy układ jest w trybie wybudzenia.

Roczne zużycie prądowe wynosi więc:

$$(0,212Ah * 3,6V) * 365 = 277,93Wh \text{ (2.4)}$$

Gdzie:

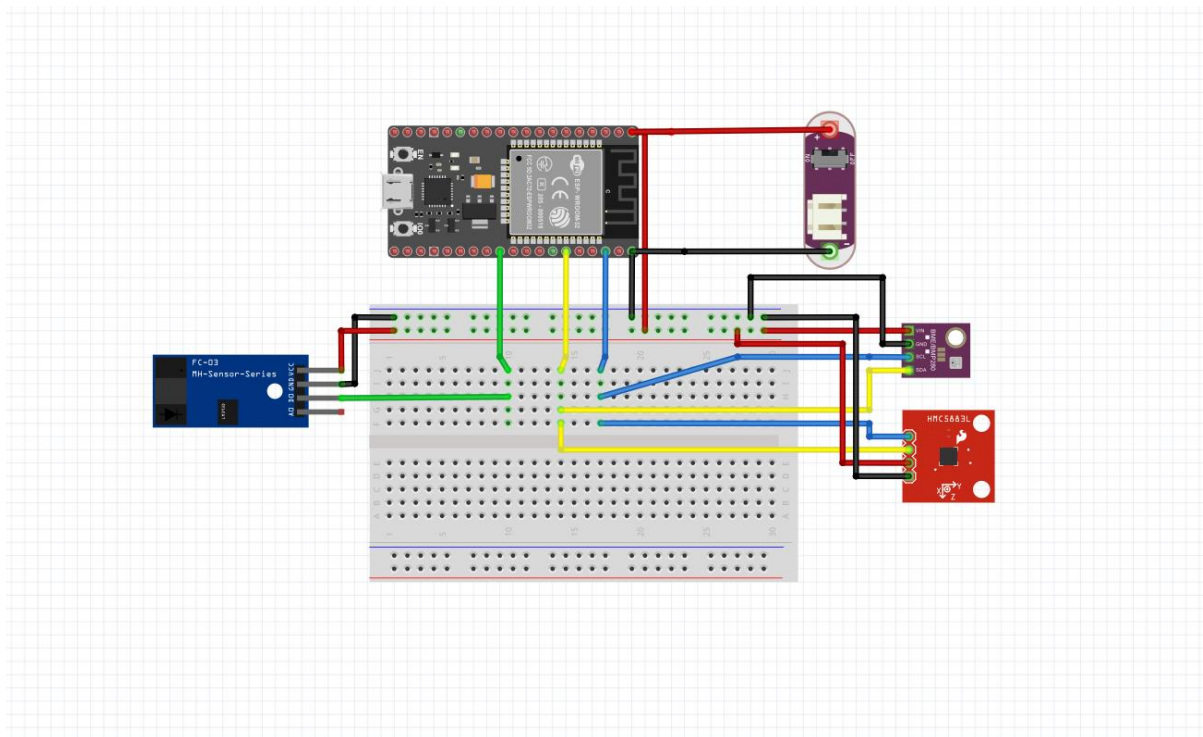
0,212Ah – prądowe zużycie dobowe układu,

3,6V – napięcie układu.

Podsumowując, prąd doładowania jest większy niż prąd zużywany przez układ. Można więc założyć, że układ będzie działać bardzo długi czas.

### 3.7. Schemat połączeń stacji pogodowej

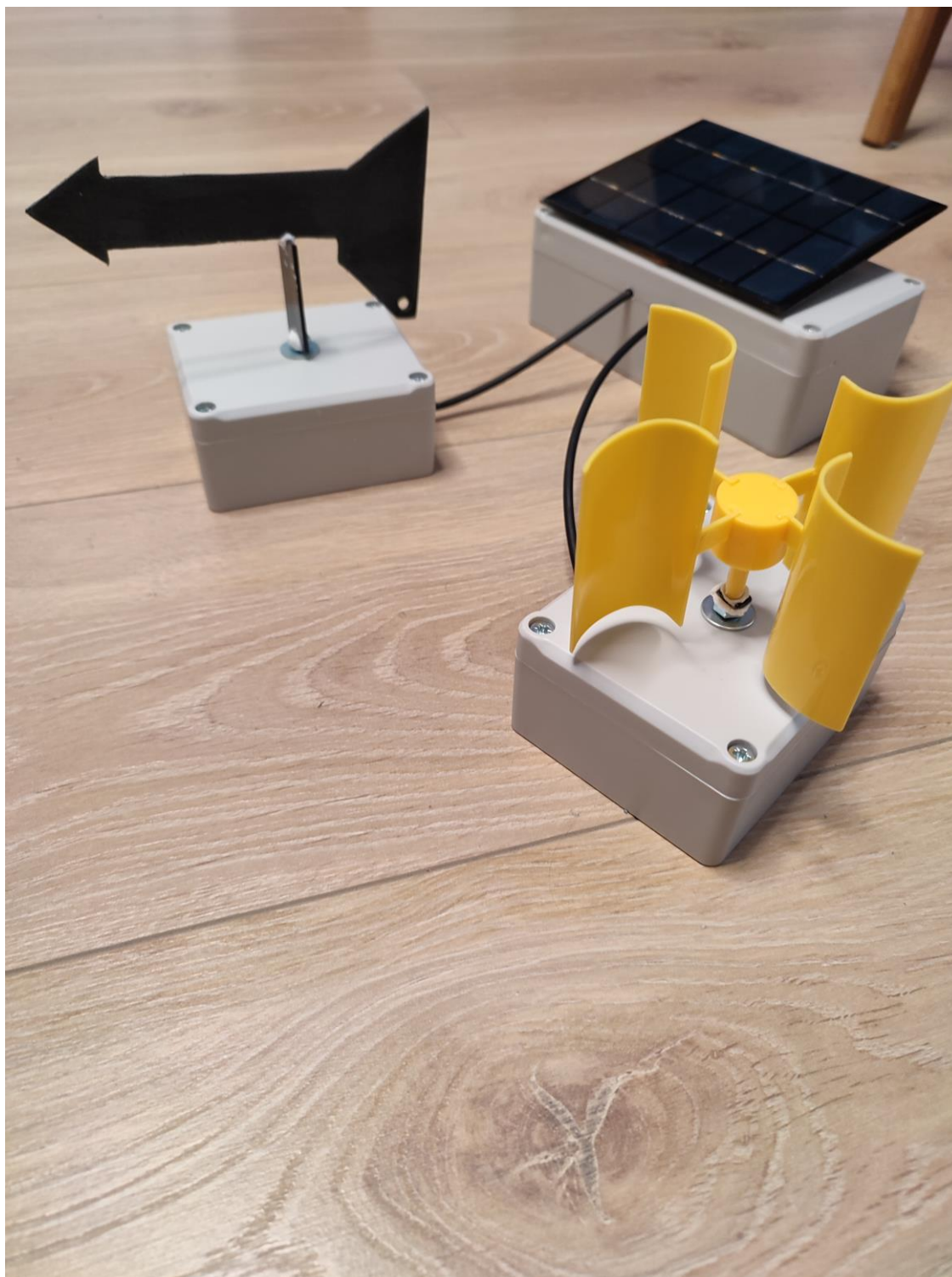
Schemat połączeń został wykonany przy pomocy programu FRITZING. Jest to darmowa aplikacja typu CAD, która pozwala na tworzenie amatorskich lub hobbystycznych projektów sprzętu elektronicznego. Poniżej znajduje się schemat podłączeń:



Rysunek 18. Schemat połączeń stacji pogodowej.

Na schemacie czerwonym kolorem oznaczone zostało napięcie 3,3V zasilające każdy z czujników. Czarny kolor to uziemienie. Niebieskim kolorem został oznaczony przewód odpowiadający połączeniu do piny SDA w magistrali I2C, a żółtym kolorem oznaczony jest przewód odpowiadający za komunikację SCL magistrali I2C. BMP280 i QMC5883L komunikują się właśnie za pomocą tej magistrali. LM393 prócz napięcia i uziemienia potrzebuje tylko jednego piny cyfrowego do komunikacji. Do tego celu wybrany został pin GPIO27.

### 3.8. Obudowa



Rysunek 19. Wygląd zewnętrzny stacji pogodowej

Stacja będzie znajdować się na zewnątrz co łączy się z odpornością na wiele czynników atmosferycznych. By zapobiec negatywnym skutkom tych czynników potrzebna jest szczelna obudowa, która może pomieścić wszystkie komponenty. Z uwagi na rozmiar wiatrometru, wiatrowskazu oraz panelu fotowoltaicznego, zdecydowałem się wykorzystać trzy puszki elektryczne, w których znajduje się cały system. Każda z puszek jest dodatkowo zabezpieczona uszczelkami.



### 3.9. Testy działania stacji

Stacja była testowana od dnia 23.08.2021 we Wrocławiu. Pierwszy pomiar odbył się o godzinie 10:00 rano, a następnie odbywały się równo co pół godziny. Test trwał do godziny 10:00 następnego dnia. Wyniki zapisane zostały w tabeli test w bazie danych domeny. Następnie odczyty zostały porównane z ogólnodostępną internetową bazą pogodową. Poniżej znajduje się tabela z wynikami testu oraz pogoda z innego sprawdzonego źródła:

| id | value1 | value2 | value3 | value4            | reading_time        |
|----|--------|--------|--------|-------------------|---------------------|
| 1  | 20.5   | 1017   | 16.33  | Zachodni          | 2021-08-23 10:00:58 |
| 2  | 20.7   | 1017   | 18.01  | Zachodni          | 2021-08-23 10:30:50 |
| 3  | 21.1   | 1017   | 6.77   | Zachodni          | 2021-08-23 11:00:58 |
| 4  | 21.4   | 1017   | 15.82  | Północno Zachodni | 2021-08-23 11:30:58 |
| 5  | 21.6   | 1017   | 26.55  | Północno Zachodni | 2021-08-23 12:00:58 |
| 6  | 22.1   | 1017   | 17.17  | Zachodni          | 2021-08-23 12:30:58 |
| 7  | 22.4   | 1017   | 23.64  | Północno Zachodni | 2021-08-23 13:00:58 |
| 8  | 22.3   | 1017   | 18.44  | Zachodni          | 2021-08-23 13:30:58 |
| 9  | 22.3   | 1017   | 20.67  | Zachodni          | 2021-08-23 14:00:58 |
| 10 | 21.9   | 1017   | 17.39  | Północno Zachodni | 2021-08-23 14:30:58 |
| 11 | 21.6   | 1017   | 9.72   | Północno Zachodni | 2021-08-23 15:00:58 |
| 12 | 21.5   | 1017   | 10.05  | Północno Zachodni | 2021-08-16 15:30:58 |
| 13 | 21.3   | 1017   | 15.71  | Północno Zachodni | 2021-08-23 16:00:58 |
| 14 | 22.1   | 1017   | 11.39  | Północno Zachodni | 2021-08-23 16:30:58 |
| 15 | 21.1   | 1017   | 12.99  | Północno Zachodni | 2021-08-23 17:00:58 |
| 16 | 21.2   | 1017   | 10.73  | Północno Zachodni | 2021-08-23 17:30:58 |
| 17 | 20.8   | 1017   | 7.34   | Północno Zachodni | 2021-08-23 18:00:58 |
| 18 | 20.3   | 1017   | 14.32  | Północny          | 2021-08-23 18:30:58 |
| 19 | 18.9   | 1017   | 13.36  | Północny          | 2021-08-23 19:00:58 |
| 20 | 17     | 1017   | 19.21  | Północny          | 2021-08-23 19:30:58 |
| 21 | 17.4   | 1017   | 21.37  | Północny          | 2021-08-23 20:00:58 |
| 22 | 17.3   | 1017   | 17.61  | Północno Wschodni | 2021-08-23 20:30:58 |
| 23 | 17.1   | 1016   | 27.81  | Północno Wschodni | 2021-08-23 21:00:58 |
| 24 | 16.7   | 1012   | 24.11  | Północno Wschodni | 2021-08-23 21:30:58 |
| 25 | 16.2   | 1010   | 17.52  | Północno Wschodni | 2021-08-23 22:00:58 |

Tabela 1. Pierwsza część tabeli z wynikami testów stacji pogodowej



| id | value1 | value2 | value3 | value4            | reading_time        |
|----|--------|--------|--------|-------------------|---------------------|
| 26 | 16.2   | 1012   | 15.07  | Północno Wschodni | 2021-08-23 22:30:58 |
| 27 | 16.1   | 1017   | 26.83  | Północno Wschodni | 2021-08-23 23:00:58 |
| 28 | 16.3   | 1017   | 4.22   | Północno Wschodni | 2021-08-23 23:30:58 |
| 29 | 16.1   | 1018   | 15.61  | Północno Wschodni | 2021-08-24 00:00:58 |
| 30 | 16.2   | 1018   | 17.77  | Północno Wschodni | 2021-08-24 00:30:58 |
| 31 | 16.7   | 1018   | 22.91  | Północny          | 2021-08-24 01:00:58 |
| 32 | 16.9   | 1021   | 23.84  | Północny          | 2021-08-24 01:30:58 |
| 33 | 15.9   | 1025   | 31.87  | Północny          | 2021-08-24 02:00:58 |
| 34 | 15.3   | 1025   | 17.89  | Północny          | 2021-08-24 02:30:58 |
| 35 | 14.8   | 1025   | 15.97  | Północny          | 2021-08-24 03:00:58 |
| 36 | 14.6   | 1025   | 20.38  | Północny          | 2021-08-24 03:30:58 |
| 37 | 14.7   | 1025   | 21.46  | Północny          | 2021-08-24 04:00:58 |
| 38 | 15.1   | 1025   | 23.11  | Północny          | 2021-08-24 04:30:58 |
| 39 | 15.6   | 1025   | 15.12  | Północny          | 2021-08-24 05:00:58 |
| 40 | 15.1   | 1025   | 8.46   | Północno Wschodni | 2021-08-24 05:30:58 |
| 41 | 14.9   | 1025   | 14.92  | Północno Wschodni | 2021-08-24 06:00:58 |
| 42 | 14.5   | 1025   | 15.22  | Północno Wschodni | 2021-08-24 06:30:58 |
| 43 | 14.5   | 1025   | 5.76   | Północno Wschodni | 2021-08-24 07:00:58 |
| 44 | 14.4   | 1025   | 19.67  | Północno Wschodni | 2021-08-24 07:30:58 |
| 45 | 14.5   | 1025   | 31.07  | Północny          | 2021-08-24 08:00:58 |
| 46 | 14.7   | 1025   | 22.67  | Północny          | 2021-08-24 08:30:58 |
| 47 | 14.6   | 1025   | 23.51  | Północny          | 2021-08-24 09:00:58 |
| 48 | 14.4   | 1025   | 11.05  | Północny          | 2021-08-24 09:30:58 |
| 49 | 14.7   | 1025   | 13.66  | Północny          | 2021-08-24 10:00:48 |

**Tabela 2.** Druga część tabeli z wynikami testów stacji pogodowej

| Godzina          | Prognoza   | Wiatr                               |
|------------------|--|-------------------------------------|
| 10 <sup>00</sup> |  <b>19°C</b> Odczuwalna 19°C<br>Zachmurzenie duże   | ➤ <b>16 km/h</b><br>W Max 30 km/h   |
| 11 <sup>00</sup> |  <b>20°C</b> Odczuwalna 20°C<br>Zachmurzenie duże   | ➤ <b>16 km/h</b><br>W Max 28 km/h   |
| 12 <sup>00</sup> |  <b>21°C</b> Odczuwalna 19°C<br>Zachmurzenie duże   | ➤ <b>21 km/h</b><br>WNW Max 26 km/h |
| 13 <sup>00</sup> |  <b>22°C</b> Odczuwalna 20°C<br>Zachmurzenie duże   | ➤ <b>21 km/h</b><br>WNW Max 39 km/h |
| 14 <sup>00</sup> |  <b>22°C</b> Odczuwalna 20°C<br>Zachmurzenie duże   | ➤ <b>20 km/h</b><br>W Max 39 km/h   |
| 15 <sup>00</sup> |  <b>21°C</b> Odczuwalna 20°C<br>Zachmurzenie duże   | ➤ <b>8 km/h</b><br>NW Max 10 km/h   |
| 16 <sup>00</sup> |  <b>21°C</b> Odczuwalna 21°C<br>Pochmurno          | ➤ <b>8 km/h</b><br>NW Max 21 km/h   |
| 17 <sup>00</sup> |  <b>21°C</b> Odczuwalna 18°C<br>Pochmurno         | ➤ <b>13 km/h</b><br>NW Max 26 km/h  |
| 18 <sup>00</sup> |  <b>20°C</b> Odczuwalna 18°C<br>Zachmurzenie duże | ➤ <b>13 km/h</b><br>N Max 15 km/h   |
| 19 <sup>00</sup> |  <b>18°C</b> Odczuwalna 15°C<br>Zachmurzenie duże | ➤ <b>14 km/h</b><br>N Max 30 km/h   |
| 20 <sup>00</sup> |  <b>17°C</b> Odczuwalna 14°C<br>Zachmurzenie duże | ➤ <b>14 km/h</b><br>N Max 30 km/h   |
| 21 <sup>00</sup> |  <b>17°C</b> Odczuwalna 14°C<br>Zachmurzenie duże | ➤ <b>13 km/h</b><br>NNE Max 15 km/h |
| 22 <sup>00</sup> |  <b>16°C</b> Odczuwalna 15°C<br>Zachmurzenie duże | ➤ <b>13 km/h</b><br>NNE Max 26 km/h |
| 23 <sup>00</sup> |  <b>16°C</b> Odczuwalna 13°C<br>Zachmurzenie duże | ➤ <b>12 km/h</b><br>NNE Max 25 km/h |

Rysunek 20. Pogoda podana na portalu interia.pl z dnia 23.08.2021

| Godzina          | Prognoza  | Wiatr   |
|------------------|---|---|
| 0 <sup>00</sup>  |  <b>16°C</b> Odczuwalna 12°C<br>Przelotne opady    |  <b>17 km/h</b><br>NNE Max 20 km/h   |
| 1 <sup>00</sup>  |  <b>16°C</b> Odczuwalna 12°C<br>Przelotne opady    |  <b>18 km/h</b><br>NNE Max 33 km/h   |
| 2 <sup>00</sup>  |  <b>15°C</b> Odczuwalna 11°C<br>Zachmurzenie duże  |  <b>19 km/h</b><br>N Max 32 km/h     |
| 3 <sup>00</sup>  |  <b>14°C</b> Odczuwalna 10°C<br>Zachmurzenie duże  |  <b>17 km/h</b><br>N Max 20 km/h     |
| 4 <sup>00</sup>  |  <b>14°C</b> Odczuwalna 9°C<br>Zachmurzenie duże   |  <b>18 km/h</b><br>N Max 38 km/h     |
| 5 <sup>00</sup>  |  <b>15°C</b> Odczuwalna 10°C<br>Zachmurzenie duże |  <b>20 km/h</b><br>N Max 43 km/h     |
| 6 <sup>00</sup>  |  <b>14°C</b> Odczuwalna 8°C<br>Przelotne opady   |  <b>26 km/h</b><br>NNE Max 31 km/h |
| 7 <sup>00</sup>  |  <b>14°C</b> Odczuwalna 8°C<br>Przelotne opady   |  <b>25 km/h</b><br>NNE Max 51 km/h |
| 8 <sup>00</sup>  |  <b>14°C</b> Odczuwalna 8°C<br>Pochmurno         |  <b>26 km/h</b><br>NNE Max 46 km/h |
| 9 <sup>00</sup>  |  <b>14°C</b> Odczuwalna 11°C<br>Przelotne opady  |  <b>17 km/h</b><br>N Max 20 km/h   |
| 10 <sup>00</sup> |  <b>14°C</b> Odczuwalna 14°C<br>Przelotne opady  |  <b>16 km/h</b><br>N Max 34 km/h   |

Rysunek 21. Pogoda podana na portalu interia.pl z dnia 24.08.2021

| Informacje z bazy pogodowej na portalu interia.pl |                 |                 |                   |                        | Wyniki testu stacji |                 |                        |                   |
|---|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|-----------------|------------------------|-------------------|
| Godzina   | Temperatura(°C) | Ciśnienie (hPa) | Kierunek wiatru   | Prędkość wiatru (km/h) | Temperatura(°C)     | Ciśnienie (hPa) | Prędkość wiatru (km/h) | Kierunek wiatru   |
| 10:00   | 20              | 1017            | Zachodni          | 16                     | 20,5                | 1017            | 16,33                  | Zachodni          |
| 11:00   | 21              | 1017            | Zachodni          | 16                     | 21,1                | 1017            | 6,77                   | Zachodni          |
| 12:00   | 21              | 1017            | Północno Zachodni | 21                     | 21,6                | 1017            | 26,55                  | Północno Zachodni |
| 13:00   | 22              | 1017            | Północno Zachodni | 21                     | 22,4                | 1017            | 23,64                  | Północno Zachodni |
| 14:00   | 22              | 1017            | Zachodni          | 20                     | 22,3                | 1017            | 20,67                  | Zachodni          |
| 15:00   | 21              | 1017            | Północno Zachodni | 8                      | 21,6                | 1017            | 9,72                   | Północno Zachodni |
| 16:00   | 21              | 1017            | Północno Zachodni | 8                      | 21,3                | 1017            | 15,71                  | Północno Zachodni |
| 17:00   | 21              | 1017            | Północno Zachodni | 13                     | 21,1                | 1017            | 12,99                  | Północno Zachodni |
| 18:00   | 20              | 1017            | Północny          | 13                     | 20,8                | 1017            | 7,34                   | Północno Zachodni |
| 19:00   | 18              | 1017            | Północny          | 15                     | 18,9                | 1017            | 13,36                  | Północny          |
| 20:00   | 17              | 1017            | Północny          | 19                     | 17,4                | 1017            | 21,37                  | Północny          |
| 21:00   | 17              | 1017            | Północno Wschodni | 22                     | 17,1                | 1016            | 27,81                  | Północno Wschodni |
| 22:00   | 16              | 1017            | Północno Wschodni | 13                     | 16,2                | 1010            | 17,52                  | Północno Wschodni |
| 23:00   | 16              | 1017            | Północno Wschodni | 25                     | 16,1                | 1017            | 26,83                  | Północno Wschodni |
| 00:00   | 16              | 1019            | Północno Wschodni | 15                     | 16,1                | 1018            | 15,61                  | Północno Wschodni |
| 01:00   | 16              | 1019            | Północno Wschodni | 21                     | 16,7                | 1018            | 22,91                  | Północny          |
| 02:00   | 15              | 1019            | Północny          | 17                     | 15,9                | 1025            | 31,87                  | Północny          |
| 03:00   | 14              | 1019            | Północny          | 19                     | 14,8                | 1025            | 15,97                  | Północny          |
| 04:00   | 14              | 1019            | Północny          | 22                     | 14,7                | 1025            | 21,46                  | Północny          |
| 05:00   | 15              | 1019            | Północny          | 13                     | 15,6                | 1025            | 15,12                  | Północny          |
| 06:00   | 14              | 1019            | Północno Wschodni | 15                     | 14,9                | 1025            | 14,92                  | Północno Wschodni |
| 07:00   | 14              | 1019            | Północno Wschodni | 19                     | 14,5                | 1025            | 5,76                   | Północno Wschodni |
| 08:00   | 14              | 1019            | Północno Wschodni | 22                     | 14,5                | 1025            | 31,07                  | Północny          |
| 09:00   | 14              | 1019            | Północny          | 11                     | 14,6                | 1025            | 23,51                  | Północny          |
| 10:00   | 14              | 1019            | Północny          | 13                     | 14,7                | 1025            | 13,66                  | Północny          |

**Tabela 3. Tabela prównawcza zawierająca informacje z bazy pogodowej na portalu „interia.pl” oraz wyniki testu**

W tabeli porównawczej zostały zestawione odczyty tylko w pełnych godzinach, ponieważ portal „interia.pl” podaje pogodę co godzinę, a nie co pół godziny jak w przypadku odczytów ze stacji. Porównując wyniki testu z faktyczną pogodą w dniu testu można zauważyć, że odchyły w większości są minimalne. Większe różnice między wynikami spowodowane są tym, iż pomiary których dotyczą wyniki są chwilowe. Można więc stwierdzić, że stacja działa poprawnie.

#### **4. Podsumowaine**

Celem pracy było zaprojektowanie i wykonanie stacji pogodowej mierzącej temperaturę powietrza, ciśnienie atmosferyczne, prędkość powietrza i kierunek powietrza. Stacja miała także być zasilana z panelu fotowoltaicznego oraz miała być konfigurowalna przez urządzenie mobilne. Wszystkie cele i założenia stacji pogodowej zostały spełnione. Największym problemem dla mnie było znalezienie metod odczytywania prędkości wiatru i kierunku wiatru, gdyż nie były to zbyt oczywiste rozwiązania. Stworzenie strony, na której wyświetlają się wyniki pomiarów, także było dla mnie sporym wyzwaniem, ponieważ byłem mało doświadczony w tym obszarze oraz musiałem poszerzyć umiejętności z zakresu języka php. Kolejną kwestią sprawiającą trudność w wykonaniu pracy był fakt wadliwego funkcjonowania niektórych czujników lub ich całkowite uszkodzenie. Trzeba było zamówić nowe - czego wynikiem było znaczne spowolnienie pracy ze względu na czas trwania wysyłki produktu oraz brak możliwości testowania poprawności kodu tworzonego programu. Projekt ten dał mi możliwość uzyskania nowych i rozwinięcia nabytych wcześniej umiejętności. Z dnia na dzień projekt ewoluował i rozwijał się o kolejne elementy, wciąż udawało mi się wymyśleć nowe rozwiązania albo ulepszać stare. To doświadczenie było bardzo pouczające i na pewno wiedza oraz umiejętności, które uzyskałem podczas tworzenia pracy przydadzą mi się w dalszej pracy zawodowej.

## 5. Bibliografia

1. Michał Heller, Tadeusz Pabjan: **Elementy filozofii przyrody**. Kraków: Copernicus Center Press, 2014.
2. Jan Tamulewicz: **Wielka encyklopedia geografii świata** – tom V. Poznań: Wydawnictwo Kurpisz, 1997, s. 269-285.
3. <https://lucidar.me/en/unit-converter/revolutions-per-minute-to-kilometers-per-hour/>
4. <https://sjp.pwn.pl/slowniki/azymut.html>
5. <https://randomnerdtutorials.com/>
6. <https://lastminuteengineers.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/>
7. <https://appinventor.mit.edu/>
8. <https://www.euro.com.pl/>
9. <https://kamami.pl/ogniwa-sloneczne/559932-panel-sloneczny-136-x-110-mm-o-mocy-2w.html>
10. <https://00webhost.com>
11. <https://github.com/>
12. <https://pogoda.interia.pl/>

## 6. Wykaz ilustracji

|   |    |
|---|----|
| Rysunek 1. Stacja pogodowa Meteo SP73 Smart WiFi .....                        | 5  |
| Rysunek 2. Stacja Neatmo Weather Station .....                                | 6  |
| Rysunek 3. Mikrokontroler ESP32 w wersji developerskiej.....                  | 7  |
| Rysunek 4. Czujnik ciśnienia oraz temperatury powietrza BMP280 .....          | 10 |
| Rysunek 5. QMC5883L - magnetometr 3-osiowy .....                              | 11 |
| Rysunek 6. Moduł szczelinowy z komparatorem LM393 oraz płytka enkodera .....  | 12 |
| Rysunek 7. Ogniwo fotowoltaiczne .....  | 13 |
| Rysunek 8. Odczyt z monitora portu szeregowego dla czujnika BMP280 .....      | 16 |
| Rysunek 9. Wiatrowskaz z zewnątrz .....                                       | 16 |
| Rysunek 10. Wiatrowskaz wewnątrz .....  | 17 |
| Rysunek 11. Test wiatrowskazu .....   | 18 |
| Rysunek 12. Wygląd zewnętrzny wiatromierza .....                              | 19 |
| Rysunek 13. Wygląd wewnętrzny wiatromierza .....                              | 20 |
| Rysunek 14. Wynik pomiaru prędkości wiatru.....                               | 21 |
| Rysunek 15. Wygląd strony, na której wyświetlone są wyniki pomiarów .....     | 23 |
| Rysunek 16. Konfiguracja połączenia za terminalu na urządzeniu mobilnym ..... | 26 |
| Rysunek 17. Prezentacja trybu Deep Sleep .....                                | 27 |
| Rysunek 18. Schemat połączeń stacji pogodowej.....                            | 30 |
| Rysunek 19. Wygląd zewnętrzny stacji pogodowej.....                           | 31 |
| Rysunek 20. Pogoda podana na portalu interia.pl z dnia 23.08.2021 .....       | 34 |
| Rysunek 21. Pogoda podana na portalu interia.pl z dnia 24.08.2021 .....       | 35 |

## 7. Wykaz tabel

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1. Pierwsza część tabeli z wynikami testów stacji pogodowej .....  | 32 |
| Tabela 2. Druga część tabeli z wynikami testów stacji pogodowej .....   | 33 |
| Tabela 3. Tabela prównawcza zawierająca informacje z bazy pogodowej na portalu „interia.pl” oraz wyniki testu ..... | 36 |

## 8. Wykaz wzorów

|  |    |
|--|----|
| 1.1 Wzór na obliczenie prędkości obrotowej koła.....             | 22 |
| 1.2 Uproszczony wzór na obliczenie prędkości obrotowej koła..... | 22 |
| 2.1 Pole powierzchni panelu fotowoltaicznego.....                | 28 |
| 2.2 Roczna produkcja prądu panelu fotowoltaicznego.....          | 28 |
| 2.3 Łączne dobowe zużycie prądu przez układ.....                 | 28 |
| 2.4 Roczne zużycie prądu przez układ.....                        | 29 |

## **9. Streszczenie pracy**

### **9.1. Streszczenie w języku polskim**

Celem pracy jest wykonanie energooszczędnej stacji pogodowej, która komunikuje się z urządzeniem mobilnym. Praca powstała przy wykorzystaniu mikrokontrolera ESP32 w wersji developerskiej z modułem WiFi, który pozwala komunikować się mikrokontrolerowi z urządzeniem mobilnym oraz przy zastosowaniu kilku czujników sprawdzających warunki pogodowe. Stacja pogodowa umożliwia pomiar temperatury powietrza, ciśnienia atmosferycznego, prędkości oraz kierunku wiatru. Stacja ta ma również możliwość konfiguracji i odczytu wyników z urządzenia mobilnego. Praca zawiera opis użytych podzespołów i komponentów oraz pokazuje proces tworzenia stacji pogodowej.

### **9.2. Summary**

The goal of this thesis is to develop an energy-saving-weather station. Station will be configurable through mobile device. Project was made with microcontroller ESP32 Developer version, with WiFi and few sensors. The aim is to provide detached weather station that measure temperature, pressure, wind speed and wind direction. Station must display readings on web page and must be configurable through mobile device. Thesis contains description of designing and building weather station.



Łódź, dnia 20.10.2021

## OŚWIADCZENIE

Imię i nazwisko: **Bartosz Porąbka**

Adres: **Jastrzębia 13, 95-070 Aleksandrów Łódzki**

Nr albumu: **209669**

Jednostka organizacyjna prowadząca studia: **Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,  
Informatyki i Automatyki**

Kierunek studiów: **mechatronika**

Poziom kształcenia: **studia I stopnia inżynierskie**

Forma studiów: **studia stacjonarne**

Oświadczam, że poinformowano mnie o zasadach dotyczących kontroli oryginalności pracy dyplomowej w Jednolitym Systemie Antyplagiatowym.

.....  
(Podpis studenta)

Łódź, dnia 20.10.2021

## OŚWIADCZENIE

o samodzielności wykonania i oryginalności pracy dyplomowej

Imię i nazwisko: **Bartosz Porąbka**

Adres: **Jastrzębia 13, 95-070 Aleksandrów Łódzki**

Nr albumu: **209669**

Jednostka organizacyjna prowadząca studia: **Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki**

Kierunek studiów: **mechatronika**

Poziom kształcenia: **studia I stopnia inżynierskie**

Forma studiów: **studia stacjonarne**

Świadomy odpowiedzialności karnej za składanie fałszywych zeznań wynikającej z przepisu art. 233 § 1 Kodeksu karnego oświadczam, że:

1. Przedkładana praca dyplomowa **inżynierska** na temat:

**Stacja pogodowa zasilana z ogniwa fotowoltaicznego konfigurowana przez urządzenie mobilne.**

została wykonana przeze mnie samodzielnie.

2. Wymieniona wyżej praca:

- nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz. U. z 2018 poz. 1191, z późn. zm.) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym, a także nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem w sposób niedozwolony,
- nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadawaniem dyplomów wyższej uczelni lub tytułów zawodowych.

3. Jednocześnie wyrażam zgodę/nie wyrażam zgody\* na wykorzystanie fragmentów mojej pracy dyplomowej w publikacjach naukowych pracowników Politechniki Łódzkiej za zgodą prodziekana właściwego ds. studenckich, na zasadach wynikających z Ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz. U. z 2018 poz. 1191, z późn. zm.)

---

(\*) Niepotrzebne skreślić

.....  
(Podpis studenta)

Łódź, dnia 20.10.2021

## OŚWIADCZENIE

o zgodności wersji elektronicznej pracy dyplomowej z  
przedstawionym wydrukiem komputerowym

Imię i nazwisko: **Bartosz Porąbka**

Adres: **Jastrzębia 13, 95-070 Aleksandrów Łódzki**

Nr albumu: **209669**

Jednostka organizacyjna prowadząca studia: **Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,  
Informatyki i Automatyki**

Kierunek studiów: **mechatronika**

Poziom kształcenia: **studia I stopnia inżynierskie**

Forma studiów: **studia stacjonarne**

Świadomy odpowiedzialności karnej za składanie fałszywych zeznań oświadczam, że  
przedkładana na nośniku elektronicznym praca dyplomowa **inżynierska** na temat:  
**Stacja pogodowa zasilana z ogniwa fotowoltaicznego konfigurowana przez urządzenie  
mobilne.**

zawiera te same treści, co oceniany przez promotora i recenzenta wydruk komputerowy.  
Jednocześnie oświadczam, że jest mi znany przepis art. 233 § 1 Kodeksu karnego  
określający odpowiedzialność za składanie fałszywych zeznań.

.....  
(Podpis studenta)