

# Pomiar parametrów atmosfery z wykorzystaniem domowej stacji meteorologicznej

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono analizę wyników badań parametrów meteorologicznych otrzymanych za pomocą samodzielnie wykonanej stacji meteorologicznej z bezprzewodową transmisją danych. Do zmierzonych parametrów zaliczają się: temperatura, wilgotność względna oraz ciśnienie bezwzględne. Wykonane pomiary porównano ze wzorcowymi czujnikami wysokiej klasy, natomiast na podstawie zestawienia wyników tych badań wyciągnięto odpowiednie wnioski.

**Abstract.** The article presents an analysis of meteorological parameters tests performed with the use of a self-designed meteorological station with wireless data transmission. The measured parameters include temperature, relative humidity, and absolute pressure. The performed measurements were compared with standard high-class sensors, and appropriate conclusions were drawn based on the compilation of the results of these tests. (*Measurement of atmosphere parameters with the use of home meteorological station*).

**Słowa kluczowe:** Arduino, LoRa, STM32, stacja pogodowa

**Keywords:** Arduino, LoRa, STM32, weather station

## Wprowadzenie

W dobie wszechobecnego dostępu do Internetu i systemów elektronicznych znajdujących się w większości urządzeń, z których korzysta społeczeństwo mamy dostęp do aktualnego stanu pogody praktycznie z każdego miejsca, w którym się znajdujemy. Pogodę w każdej chwili możemy sprawdzić dzięki komputerowi, smartfonowi czy nawet poprzez zegarek. Urządzenia te komunikują się przez Internet z serwerami, które udostępniają te informacje z placówek pomiarowych, które monitorują warunki pogodowe dla własnych celów, przy okazji udostępniając pomiary publicznie. Stacje meteorologiczne ośrodków badawczych to najczęściej ogródki laboratoryjne, w których mierzony jest szereg parametrów atmosfery, takich jak: ciśnienie powietrza, temperatura itp. [1]. Rozwój technologii sprawił, że stacje meteorologiczne coraz częściej spotykane są w naszych domach, w postaci niewielkich urządzeń elektronicznych. Niektóre z nich mierzą podstawowe parametry by poinformować nas o temperaturze i opadach atmosferycznych o poranku, inne stacje informują nas o zamarzaniu naszego ogródka [2]. W zależności od preferencji i przeznaczenia większość użytkowników znajdzie stację meteorologiczną, która przynajmniej częściowo odpowie na ich potrzeby, ale to zaprojektowanie i stworzenie własnego projektu koncepcyjnego stacji meteorologicznej przez jej przyszłego użytkownika gwarantuje całkowite dostosowanie urządzenia do potrzeb konstruktora. Za pomocą samodzielnie zaprojektowanej stacji meteorologicznej dokonano pomiaru parametrów atmosferycznych i porównano otrzymane wyniki, z wynikami referencyjnymi zmierzonymi przez czujniki wysokiej klasy w ogródku naukowej stacji meteorologicznej.

## Warstwa Sprzętowa

Projekt opracowanej stacji meteorologicznej zakłada pomiar temperatury, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego, z wykorzystaniem stacji domowej i stacji zewnętrznej, które komunikują się ze sobą za pomocą modułu bezprzewodowej transmisji danych. W projekcie stacji został wykorzystany czujnik mierzący parametry pogodowe BME280 firmy Bosch [3]. W układzie połączony jest on poprzez interfejs I2C. Błąd pomiarowy czujnika dla temperatury wynosi 0,5°C, dla ciśnienia 0,12hPa, natomiast dla wilgotności 3%. Moduł komunikacji bezprzewodowej to E32 433T20D firmy Semtech. Komunikacja LoRa [4] wykorzystuje modulację o tej samej nazwie i oparta jest na

technologii rozpraszania widma CSS polegającej na ciągłej zmianie częstotliwości w czasie pracy przy zachowaniu określonej szerokości pasma. Maksymalny zasięg komunikacji, z wykorzystaniem tego modułu może osiągnąć do 3km, natomiast maksymalna moc transmisji radiowej wynosi 10mW. Projekt stacji meteorologicznej oparty jest na mikroprocesorze ESP-WROOM-32 [5]. Sposób w jaki prezentują się działające stacje można zobaczyć na rysunku 1.



Rys.1. Uruchomiona stacja meteorologiczna.

Stacja zewnętrzna posiada czujnik mierzący parametry pogodowe oraz moduł bezprzewodowej komunikacji, którego zadaniem jest przesyłanie wyników zrealizowanych pomiarów do stacji domowej. Ponadto posiada niezależne zasilanie akumulatorowe. Stacja jest również wyposażona w czujnik mierzący parametry wewnątrz pomieszczenia, w którym się znajduje. Moduł komunikacji bezprzewodowej wykorzystywany w tej stacji jest jako odbiornik. Stacja domowa wyposażona jest również w wyświetlacz, którego zadaniem jest zaprezentowanie użytkownikowi zrealizowanych pomiarów z obydwu stacji.

## Oprogramowanie

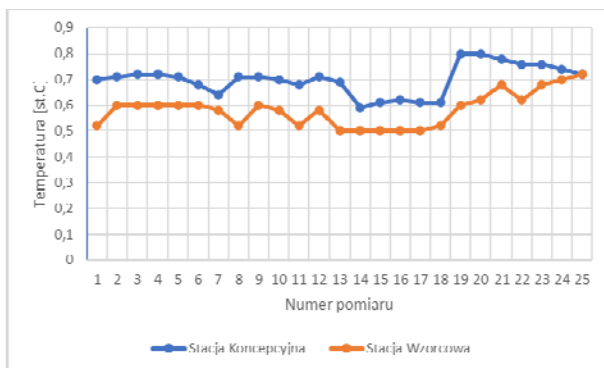
Stacja domowa i stacja zewnętrzna posiadają dwa, różne od siebie ze względu na specyfikę pracy oprogramowania. W projekcie została wykorzystana

biblioteka DFRobot\_BME280, która odpowiedzialna jest za obsługę czujnika BME280 oraz biblioteka TFT\_eSPI, dzięki której możliwe jest wydajniejsze wykorzystanie modułu wyświetlacza LCD. Biblioteki dostępne są do pobrania na stronie github.com [6]. Program stacji domowej wykorzystuje pięć funkcji własnych. Zarówno pierwsza jak i druga funkcja znajdują się w funkcji setup, która wykonuje się tylko raz. Jest to proces inicjalizacji urządzenia. Pierwsza z nich odpowiedzialna jest za oprawę wizualną prezentowaną na wyświetlaczu przedstawioną na rys. 2.

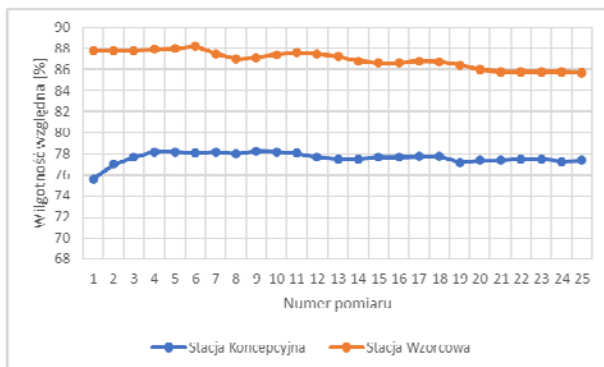


Rys.2. Graficzny interfejs stacji domowej przedstawiony na LCD

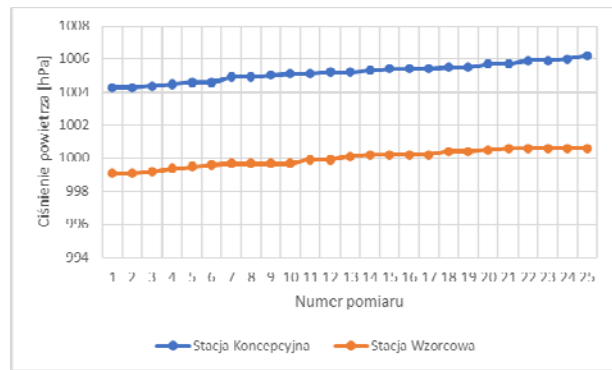
W trakcie projektowania oprogramowania urządzenia istotnym elementem było wprowadzenie do kodu elementów autodiagnostyki stacji meteorologicznej. Komunikaty informujące o wystąpieniu usterki są czytelne z poziomu wyświetlacza, dzięki czemu nawet niedoświadczony użytkownik będzie wiedział jaki problem wystąpił z urządzeniem.



Rys.3. Wyniki pomiarów temperatury powietrza



Rys.4. Wyniki pomiarów wilgotności względna powietrza



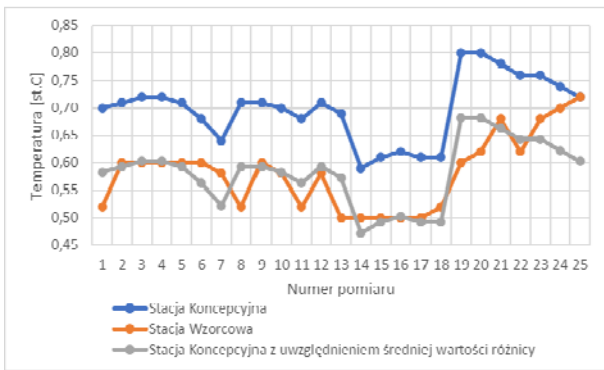
Rys.5. Wyniki pomiarów ciśnienia powietrza

### Badania

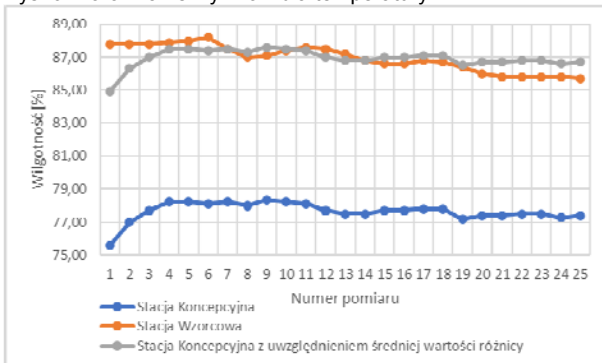
Wykonany projekt koncepcyjny stacji meteorologicznej został sprawdzony pod kątem dokładności pracy czujnika. Otrzymane pomiary z czujnika zostały porównane z pracującą równoległe stacją meteorologiczną IUNG w Puławach, która została potraktowana jako wzorzec warunków atmosferycznych. Wyniki przedstawiono na rysunkach 3-5.

Praca czujnika Bosch BME280, użytego w projekcie stacji meteorologicznej, została porównana z pracą czujników firmy Vaisala. W stacji referencyjnej wykorzystano czujniki HMP155, który jest odpowiedzialny za pomiar temperatury i wilgotności, oraz HMP45DX dokonujący pomiaru ciśnienia. Pomiary wszystkich parametrów przez obydwie stacje były realizowane co dziesięć minut przez 4 godziny. Średnia arytmetyczna temperatury wynosi 0,70°C dla stacji koncepcyjnej i 0,58°C w przypadku stacji wzorcowej. Średnia arytmetyczna wilgotności względnej mierzona przez obydwie stacje jest równa 77,64% i 86,94% kolejno dla stacji koncepcyjnej i wzorcowej. Średnia arytmetyczna dla zmierzonego ciśnienia bezwzględnego przez stację koncepcyjną wynosi 1005,20hPa, a dla stacji wzorcowej wynosi 999,99hPa. Odchylenie standardowe temperatury wyniosło 0,035°C a wilgotności 0,31%. Natomiast odchylenie standardowe ciśnienia wyniosło 0,29hPa. Największa różnica zmierzonej temperatury pomiędzy stacją koncepcyjną a stacją wzorcową wynosi 0,2°C. Względna dokładność jaką gwarantuje producent wynosi 0,5°C [6], więc jest to bardzo dobry wynik. Zmierzona przez stację koncepcyjną wilgotność względna nie spełnia oczekiwań, ponieważ najmniejsza różnica w pomiarach wynosi 8,3% przekraczając względną dokładność o 5,3%. Najmniejsza różnica zmierzonego ciśnienia wynosi 5,1hPa co sprawia, że wartość ta przekracza nie tylko względną dokładność, ale również absolutną tolerancję dokładności gwarantowaną przez producenta. Czujnik spełnia oczekiwania pod kątem zmierzonej temperatury. Błąd pomiaru wilgotności względnej jest duży, ale akceptowalny przy założeniu, że stacja będzie użytkowana w warunkach domowych. Błąd pomiaru ciśnienia bezwzględnego jest bardzo duży, mimo to pomiar można zaakceptować zakładając domowe przeznaczenie stacji koncepcyjnej. Po przeprowadzeniu analizy danych pomiarowych poprzez porównanie wyników stacji koncepcyjnej do wyników stacji referencyjnej można stwierdzić, że pomiary wykonane stacją koncepcyjną obciążone są błędem o charakterze systematycznym. Średnia wartość różnicy wyników w przypadku temperatury wynosi 0,12°C. Średnia wartość różnicy wyników dla wilgotności wyniosła 9,30%. Dla ciśnienia średnia wartość różnicy wyników wyniosła 5,21hPa. W przypadku temperatury i ciśnienia średnią wartość różnicy należy odejmować od wyników stacji koncepcyjnej, natomiast w

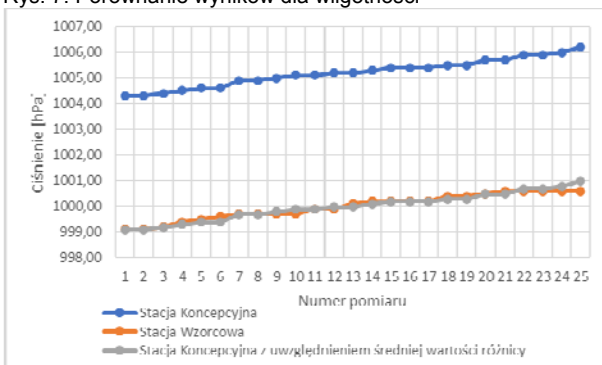
przypadku wilgotności wartość tą należy dodać. Otrzymane wyniki można zaobserwować na rysunkach 6-8.



Rys. 6. Porównanie wyników dla temperatury



Rys. 7. Porównanie wyników dla wilgotności



Rys. 8. Porównanie wyników dla ciśnienia

Badanie zasięgu systemu bezprzewodowej komunikacji zostało przeprowadzone w taki sposób, aby można było ocenić wpływ zurbanizowania terenu na zasięg działania stacji. Badanie było realizowane poprzez przemieszczanie stacji zewnętrznej wokół stacji domowej na granicy maksymalnego zasięgu. Stacja domowa została ustawiona na współrzędnych geograficznych 51°29'40.3"N 21°52'51.6"E. Maksymalne zasięgi i współrzędne punktów pomiarowych zostały podane w tabeli 1. Maksymalny uzyskany zasięg podczas wykonywania badań wynosił 1,05km, natomiast minimalny zasięg wynosił 0,89km. Średni zasięg roboczy stacji meteorologicznej wynosi 0,99km. Trzykrotnie mniejszy zasięg praktyczny w stosunku do zasięgu teoretycznego może wynikać z charakterystyki pasma, na którym pracuje wykorzystany w projekcie moduł LoRa. Częstotliwość 433MHz mieści się w zakresie UHF, czyli fal decymetrowych. Jest to bardzo intensywnie wykorzystywane pasmo. Na częstotliwościach 430-440 MHz w Polsce znajduje się pasmo wykorzystywane przez krótkofalowców. Ponadto na częstotliwości 433MHz mogą pracować urządzenia alarmowe.

Tabela 1. Zasięg praktyczny i współrzędne punktów pomiarowych

Pomiar	Współrzędne geograficzne	Zasięg Praktyczny [km]
1.	51°30'13.9"N 21°52'43.8"E	1,05
2.	51°30'11.6"N 21°53'09.9"E	1,03
3.	51°29'58.7"N 21°53'36.3"E	1,03
4.	51°29'48.0"N 21°53'43.3"E	1,02
5.	51°29'25.8"N 21°53'39.0"E	1,01
6.	51°29'19.9"N 21°53'32.8"E	1,01
7.	51°29'14.5"N 21°53'23.5"E	1,01
8.	51°29'10.8"N 21°53'16.3"E	1,03
9.	51°29'07.2"N 21°53'04.4"E	1,05
10.	51°29'08.5"N 21°52'51.0"E	0,98
11.	51°29'09.2"N 21°52'49.8"E	0,96
12.	51°29'11.1"N 21°52'44.7"E	0,91
13.	51°29'08.9"N 21°52'41.0"E	0,99
14.	51°29'12.1"N 21°52'32.8"E	0,94
15.	51°29'14.7"N 21°52'30.2"E	0,89
16.	51°29'12.5"N 21°52'23.1"E	1,01
17.	51°29'13.8"N 21°52'20.8"E	1,01
18.	51°29'20.2"N 21°52'10.0"E	1,01
19.	51°29'33.5"N 21°52'00.2"E	1,01
20.	51°29'56.7"N 21°52'05.8"E	1,02

Te czynniki sprawiają, że komunikacja mogła być zagłuszana przez urządzenia o znacznie wyższej mocy, zważając na to, że badania zostały przeprowadzone w dużej mierze, w terenie zurbanizowanym. Między stacją domową a stacją zewnętrzną w żadnym z pomiarów nie wystąpiła idealnie pusta przestrzeń. Ze względu na teren w jakim przeprowadzane były badania strefę Fresnela pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem zakłócały budynki i drzewa. Takie warunki sprawiły, że zasięg praktyczny jest mniejszy od zasięgu teoretycznego.

#### Podsumowanie

Przeprowadzenie badań dokładności czujnika pomiarowego pozwoliło zobrazować błędy pomiarowe czujnika zastosowanego w projekcie i ocenić jego przeznaczenie. Po uwzględnieniu błędu systematycznego i zminimalizowaniu jego wpływu na otrzymane wyniki pomiarów stacja koncepcyjna spełnia oczekiwania w stopniu bardzo dobrym. Sensor wykorzystany w stacji meteorologicznej jest wystarczający do projektu domowej stacji meteorologicznej, jednak wydaje się nie wystarczający by wykorzystać go w projektach z wyspecjalizowanym przeznaczeniem. Dzięki wykorzystaniu mikroprocesora ESP-WROOM-32 z wbudowanym modulem Wi-Fi, możliwe jest w przyszłości rozszerzenie działania urządzenia o funkcje przesyłania otrzymanych wyników do sieci internetowej i podgląd badanych parametrów z każdego miejsca na świecie.

**Autorzy:** dr inż. Michał Łabowski, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Instytut Radioelektroniki, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [michal.labowski@wat.edu.pl](mailto:michal.labowski@wat.edu.pl); inż. Albert Wziątek, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Instytut Radioelektroniki, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [albert.wziatek@student.wat.edu.pl](mailto:albert.wziatek@student.wat.edu.pl).

#### LITERATURA

- [1] Bayer A., Iersel M., Chappell M., What is a weather station and can it benefit ornamental growers?, (2017)
- [2] <https://www.label.pl/> (Dostęp: 11.01.2021 r.)
- [3] Bosch Sensortec, BME280: Data Sheet, (2014)
- [4] Chengdu Ebyte Electronic Technology Co., E32-433T20DC User Manual
- [5] Espressif Systems, ESP32-WROOM-32 Datasheet
- [6] Github.com (Dostęp: 11.01.2021 r.)