# System ostrzegania przed przymrozkami

## Etap 2: Implementacja rozwiązania

Michał Kołodziejczyk, Sebastian Chmielewski, Bartłomiej Gromulski

Opiekun projektu: dr inż. Wojciech Kazubski

15 lutego 2026

## Spis treści

# 1 Telegraf

## 1.1 Rola

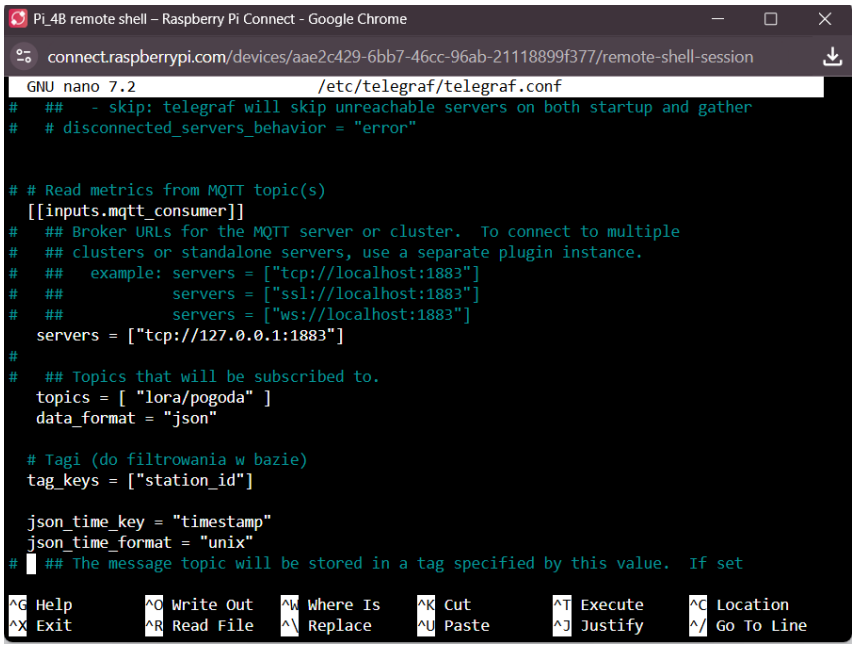
W tej fazie projektu wykorzystano narzędzie Telegraf jako pośrednika w warstwie transportu i przetwarzania danych. Jego głównym zadaniem jest nasłuchiwanie komunikatów przychodzących z brokera MQTT, parsowanie ich formatu oraz przesyłanie przetworzonych danych do bazy InfluxDB.

Użycie Telegrafa jest optymalnym rozwiązaniem, pozwoliło na wyeliminowanie konieczności pisania własnych skryptów (np. w Pythonie) do obsługi zapisu do bazy danych, co zwiększa stabilność i skalowalność systemu. Telegraf automatycznie buforuje dane w przypadku chwilowej niedostępności bazy.

## 1.2 Konfiguracja

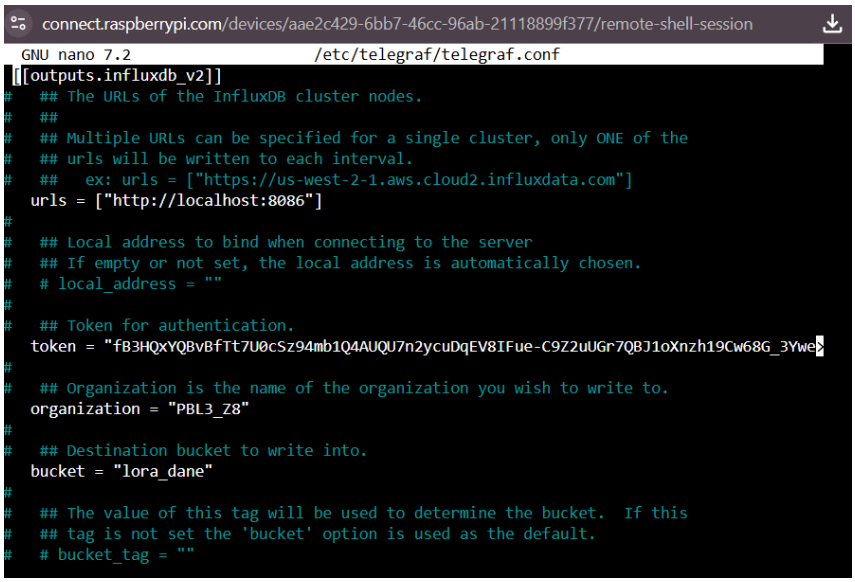
Telegraf został skonfigurowany poprzez edycję głównego pliku konfiguracyjnego znajdującego się w ścieżce /etc/telegraf/telegraf.conf. W ramach konfiguracji aktywowano dwie kluczowe wtyczki (plugins):

- Input Plugin (Wejście): mqtt_consumer – odpowiedzialny za odbiór danych.
- Output Plugin (Wyjście): influxdb_v2 – odpowiedzialny za zapis danych.




Rysunek 1: mqtt consumer

W tej sekcji zdefiniowano adres brokera, temat nasłuchiwania oraz format danych. Kluczowym ustawieniem jest data_format = "json", który umożliwia automatyczne mapowanie kluczy z obiektu JSON.




Rysunek 2: outputs dla influxdb2

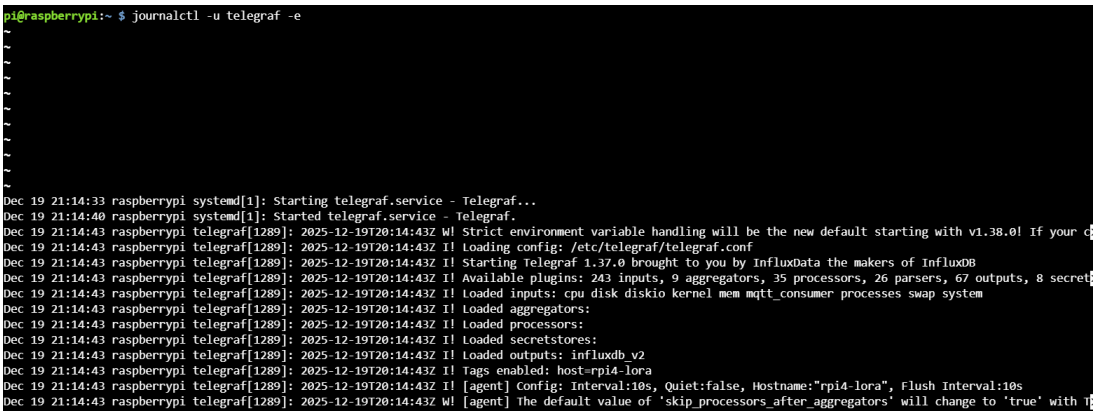
W tej sekcji skonfigurowano połączenie z bazą danych, wykorzystując uwierzytelnianie oparte na tokenach (Token-based authentication), co jest standardem w InfluxDB v2.

## 1.3 opis działania przepływu danych

Po uruchomieniu usługi (`sudo systemctl start telegraf`) agent wykonuje następujące operacje w pętli:

1. Nawiązuje stałe połączenie TCP z lokalnym brokerem Mosquitto na porcie 1883.
2. Subskrybuje temat `lora_dane/sensors/#`.
3. Po odebraniu wiadomości, parsuje ją, wyodrębniając wartości liczbowe.
4. Dodaje do danych znaczniki systemowe (np. `host`) oraz precyzyjny znacznik czasu (`timestamp`).
5. Konwertuje dane do formatu **Influx Line Protocol**.
6. Wysyła dane do API InfluxDB (port 8086) w paczkach, co optymalizuje obciążenie sieci i dysku.

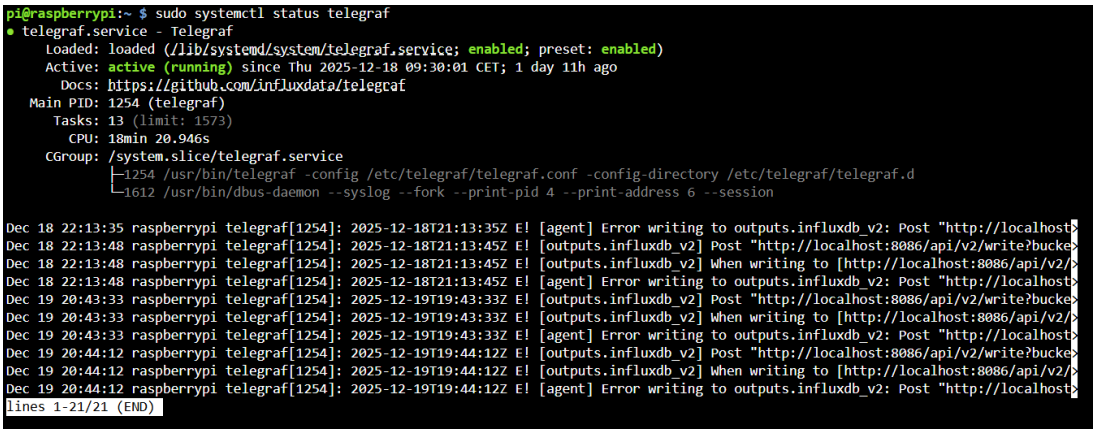
Poprawność działania konfiguracji została zweryfikowana poprzez analizę logów systemowych (`journalctl -u telegraf -e`), gdzie potwierdzono nawiązanie połączenia z oboma usługami.




Rysunek 3: dalej logi dla telegrafu

## 1.4 Monitorowanie statusu

Do sprawdzenia statusu użyto polecenia: sudo systemctl status telegraf




Rysunek 4: dalej logi dla telegrafu

Analiza logów (Journal)
W tej części zrzutu widoczne są ostatnie logi systemowe.

- Komunikaty `Error writing to outputs.influxdb_v2` wskazują na momenty, w których nie mógł on nawiązać połączenia z bazą danych InfluxDB (np. 19 grudnia o godz. 20:44).
- Jest to zachowanie oczekiwane w fazie konfiguracji systemu – Telegraf posiada wbudowany mechanizm buforowania. Gdy baza danych jest tymczasowo niedostępna (np. podczas restartu lub prac konserwacyjnych), Telegraf przechowuje dane w pamięci RAM i ponawia próby wysyłki, nie przerywając własnego działania.

# 2 MQTT

Jako medium komunikacyjne w projekcie zastosowano protokół MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Jest to lekki protokół transmisji danych działający w modelu Publikuj/Subskrybuj (Publish/Subscribe)

## 2.1 Broker

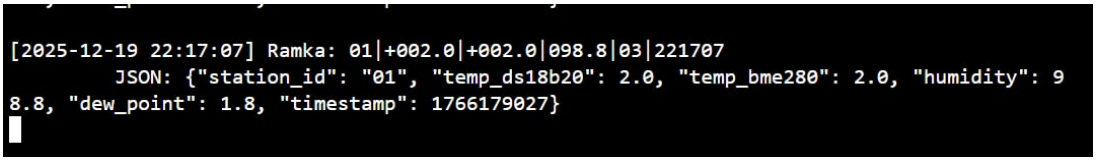
Jako broker wybrano Eclipse Mosquitto ze względu na jego stabilność, otwartość (Open Source) oraz niskie wymagania sprzętowe, co pozwala na uruchomienie go na platformie Raspberry Pi 4.

W celu umożliwienia dostępu do brokera z poziomu usługi Telegraf oraz urządzeń zewnętrznych w sieci lokalnej, zmodyfikowano domyślną konfigurację w pliku konfiguracyjnym dodając zezwolenie na połączenie bez uwierzytelnienia oraz otwarcie portu na 1883 dla połączeń sieciowych.

## 2.2 Struktura danych i tematy

W projekcie przyjęto hierarchiczną strukturę tematów (topics), co pozwala na bardzo łatwe filtrowanie co będzie przydatne na przykład w grafanie.

- Temat główny: `lora/sensors/#` (znak # oznacza subskrypcję wszystkich podtematów).
- Przykładowy temat urządzenia: `lora/sensors/rpi4-lora/`.
- Payload: Dane przesyłane są w formacie JSON. Umożliwia to przesyłanie wielu parametrów w jednej wiadomości oraz jest natywnie obsługiwane przez parser Telegrafa.




Rysunek 5: Ramka danych

Na Rysunku przedstawiono log z aplikacji bramki, ukazujący moment przetworzenia surowej ramki danych na obiekt JSON gotowy do wysłania do brokera MQTT.
Interpretacja danych:

1. **station_id**:
   Unikalny identyfikator stacji pomiarowej (węzła LoRa). Pozwala to na rozróżnienie w bazie danych, z którego urządzenia pochodzi pomiar, co umożliwia łatwe skalowanie systemu o kolejne czujniki.
2. **temp_ds18b20**:
   Wartość temperatury [°C] odczytana z cyfrowego czujnika DS18B20 (sonda wodoodporna/zewnętrzna).
3. **temp_bme280**:
   Wartość temperatury [°C] odczytana z czujnika środowiskowego BME280. Zdublowanie pomiaru temperatury pozwala na weryfikację poprawności wskazań (redundancja).
4. **humidity**:
   Wilgotność względna powietrza [%] odczytana z czujnika BME280.
5. **dew_point**:
   Punkt rosy [°C] – parametr wyliczony programowo na podstawie temperatury i

wilgotności przed wysłaniem danych. Przesyłanie wartości przeliczonej zmniejsza obciążenie obliczeniowe po stronie bazy danych.

6. **timestamp**:
   Znacznik czasu w formacie Unix Epoch (liczba sekund od 1 stycznia 1970). Przesyłanie czasu wygenerowanego przez stację nadawczą (lub bramkę w momencie odbioru) pozwala zachować precyzyjną chronologię zdarzeń.

# 3 InfluxDBv2

magazyn danych jaki wykorzystano do systemu jest InfluxDB w wersji 2.x. Jest to baza danych typu TSDB (Time Series Database), zaprojektowana specjalnie do obsługi szeregów czasowych – danych, w których kluczową rolę odgrywa moment wystąpienia zdarzenia, idealne dla naszego projektu.

## 3.1 Wdrożenie

Po zainstalowaniu pakietu influxdb2, usługę uruchomiono jako demona systemowego, baza danych nasłuchuje domyślnie na porcie 8086 i udostępnia interfejs graficzny dostępny przez przeglądarkę internetową. Aktualnie wszystko jest zawarte na localhost.

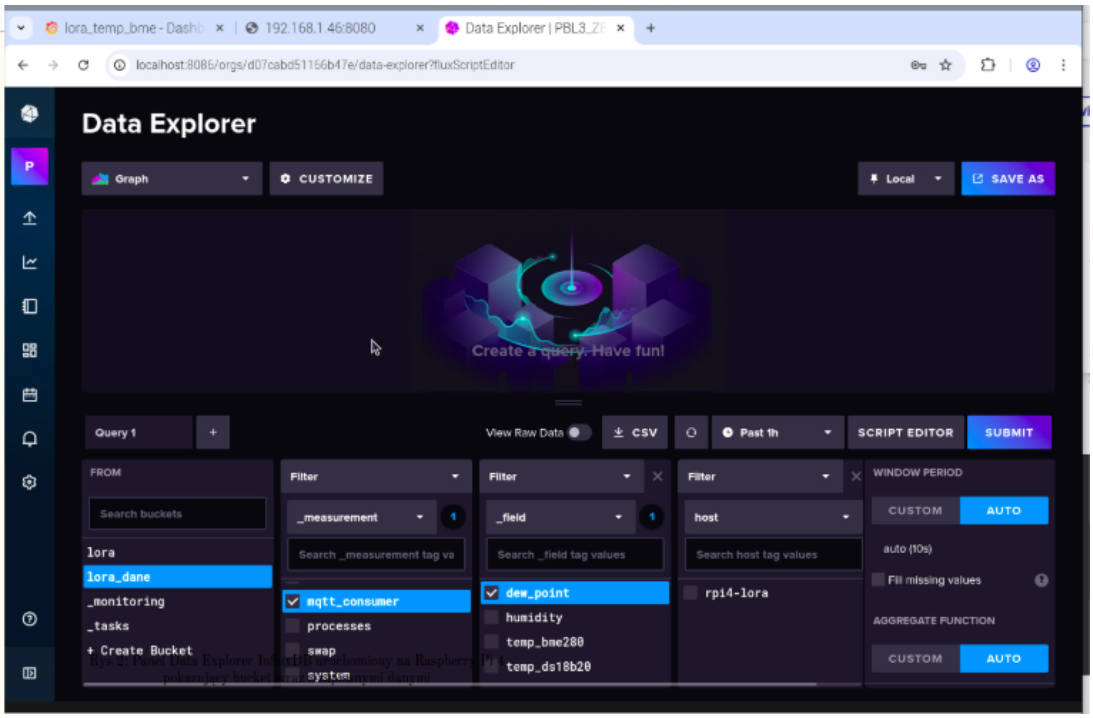
## 3.2 Konfiguracja struktury danych (v2)

- **Organizacja:** `PBL3_Z8`
- **Bucket:** `lora_dane` – kontener
- **Uwierzytelnianie:** Wygenerowano API Token: $fB3HQxYQBvBfTt7U0cSz94mb1Q4AUQU7n2ycu DqEV8IFue-C9Z2uUGr7QBJ1oXnzh19Cw68G_3YweXrsDfogrA==$ z uprawnieniami do zapisu i odczytu, który został następnie zaimplementowany w konfiguracji telegrafa.

## 3.3 Model danych

Dane trafiające do bazy za pośrednictwem Telegrafa są automatycznie indeksowane według następującego schematu:

- **_measurement:** `mqtt_consumer` (kategoria pomiaru).
- **_field:** np `temperature`, `humidity` (mierzone wartości liczbowe).
- **_tag:** `host`, `topic` (metadane tekstowe pozwalające na filtrowanie, np. po nazwie konkretnego czujnika).




Rysunek 6: wizualna prezentacja strony na rpi4

# 4 Grafana

W projekcie wykorzystano język zapytań Flux nie tylko do pobierania surowych danych, ale także do wykonywania obliczeń pochodnych w czasie rzeczywistym. Przykładem jest wyznaczanie Punktu Rosy (Dew Point) na podstawie temperatury i wilgotności, co odciąża aplikację wizualizacyjną.

W architekturze Grafana nie przechowuje danych, lecz pobiera je dynamicznie z bazy InfluxDB, renderując je w formie interaktywnych wykresów, wskaźników i tabel itd.

## 4.1 Konfiguracja

W celu integracji warstwy wizualizacyjnej z warstwą przechowywania, w systemie Grafana zdefiniowano nowe źródło danych typu InfluxDB. Ze względu na zastosowanie bazy danych w wersji 2.x, jako język zapytań wybrano Flux, co umożliwia pełne wykorzystanie możliwości analitycznych silnika bazy. Połączenie realizowane jest z lokalnym serwerem pod adresem http://localhost:8086, Grafana jest na http://localhost:3000.

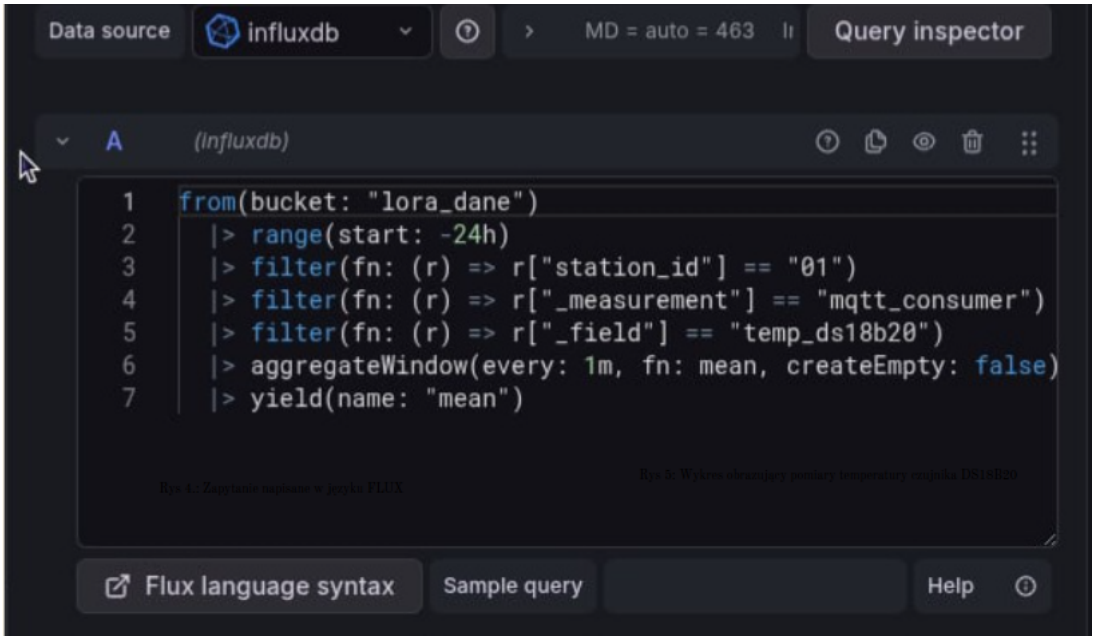
## 4.2 Dashboard

każdy dashboard filtruje dane i prezentuje na wykresie, każdy ma także osobne zapytanie w języku Flux.

1. **Wykresy czasowe (Time Series):**
   Służą do analizy trendów i zmian parametrów w czasie (np. przebieg temperatury z ostatnich 24 godzin). Pozwalają na identyfikację anomalii oraz cyklicznych zmian dobowych. Na jednym panelu nałożono dwie serie danych (`temp_ds18b20`, `temp_bme280` oraz `humidity`) w celu porównania odczytów z dwóch różnych czujników.

2. **Wskaźniki statystyczne (Stat):**
   Prezentują ostatnią znaną wartość. Zastosowano je dla następujących parametrów:
   - Aktualny punkt rosy (`dew_point`).

przykładowe zapytanie oraz wykres:



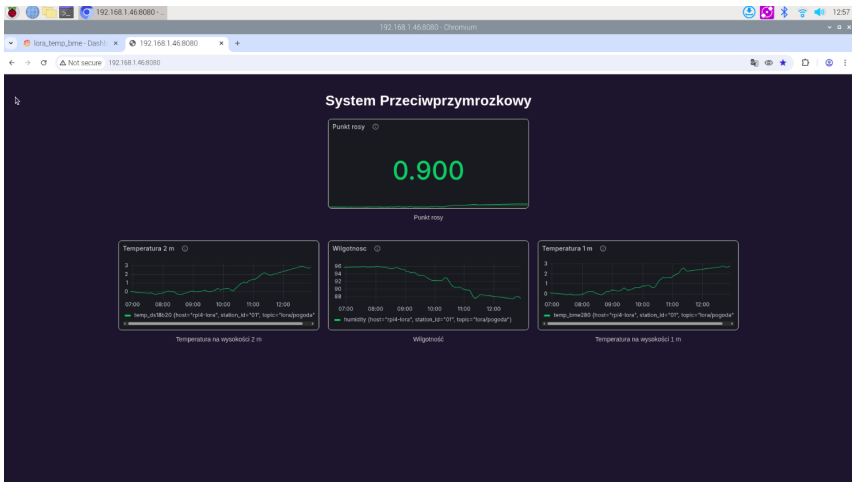

Rysunek 7: zapytanie dla temperatury z czujnika ds18b20


Rysunek 8: wykres tej temperatury nagła zmiana ukazuje różnice kiedy czujnik był w pomieszczeniu a kiedy na dworze.

Zastosowanie funkcji aggregateWindow jest kluczowe dla wydajności – przy wyświetlaniu wykresu z długiego okresu (np. 30 dni), Grafana nie pobiera milionów punktów, lecz jedynie uśrednione wartości, co znacząco przyspiesza renderowanie.

# 5 Strona internetowa

Wykorzystaliśmy nginx jako serwer HTTP. W obecnym kształcie strona przedstawia wyniki pomiarów (dwa pomiary temperatury, pomiar wilgotności i obliczony punkt rosy) jako wykresy z Grafany. W końcowej konfiguracji możliwe będzie podejrzenie danych dla wielu stacji oraz wyświetlenie komunikatów o zagrożeniu przymrozkami.

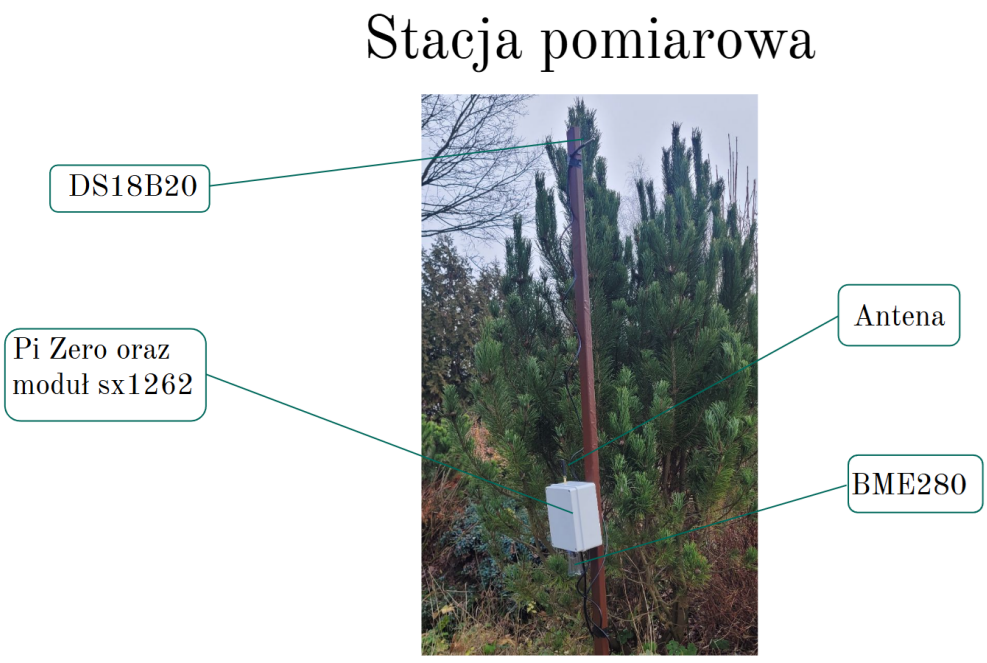



Rysunek 9: Strona przedstawiająca wyniki pomiarów w postaci wykresów z Grafany

# 6 Stacja pomiarowa

## 6.1 Komponenty stacji pomiarowej

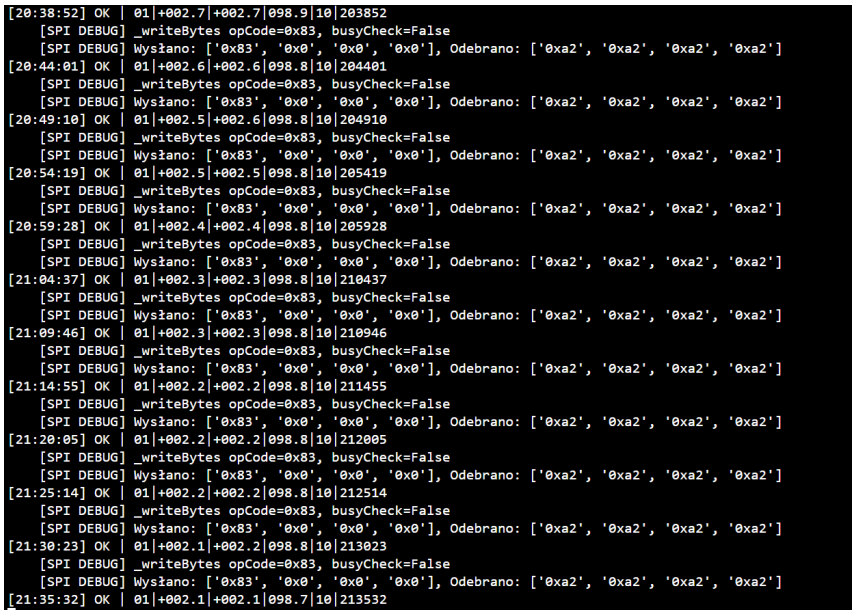
W etapie drugim zbudowaliśmy stację zbierającą pomiary i wysyłającą dane za pomocą Lory do odbiornika. Stacja składa się z Raspberry Pi Zero, modułu SX1262 Lora, czujnika BME280, czujnika DS18B20 oraz anteny. Stacja wykonuje pomiary co 30 sekund i po 5 minutach liczy średnią, która potem jest wysyłana w ramce. Wysyłanie średniej co 5 minut pozwala zmniejszyć czas transmisji jednej stacji, co w przyszłości pozwoli na rozszerzenie systemu o dodatkowe stacje pomiarowe. Mierzone parametry to: wilgotność na wysokości 1 m (czujnik BME280), temperatura na wysokości 1 m (czujnik BME280), temperatura na wysokości 2 m (czujnik DS18B20). Raspberry Pi Zero oraz moduł SX1262 zostały umieszczone wewnątrz hermetycznej puszki instalacyjnej o wymiarach 150x110x70 mm, na górnej ściance puszki wywiercony został otwór przez który przepuszczono przejściówkę do anteny. Antenę zamocowano na stałe w pozycji pionowej. Od spodu puszki wywiercony został otwór przez który przepuszczono kable do czujnika BME280, sam czujnik został osłonięty plastikową obudową, chroniącą przed bezpośrednim działaniem deszczu lub śniegu. U spodu puszki przewiercono również otwór dla czujnika DS18B20, który jest przymocnowany u góry słupka na wysokości ok. 200 cm. Spód puszki znajduje się na wysokości ok. 105 cm, a czujnik BME280 na wysokości ok. 100 cm nad powierzchnią gruntu.




Rysunek 10: Opis komponentów w stacji pomiarowej

## 6.2 Działanie stacji pomiarowej

Po zweryfikowaniu działania wszystkich czujników i poprawnej komunikacji przy pomocy modułu Lora, stacja została umieszczona na dworze i w momencie pisania sprawozdania działa nieprzerwanie od ponad 70 godzin.



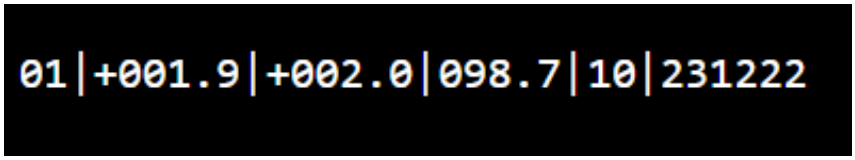

Rysunek 11: Logi przedstawiające ramki wysyłane przez Pi Zero

## 6.3 Parametry Lory

Użyte parametry to SF = 7, Bandwidth = 500 kHz, CR = 5, Moc nadawania 14 dBm. Parametr SF został ustalony, tak aby pasował do warunków bliskiej odległości nadajnika i odbiornika, wysokie BW pozwala zmniejszyć czas transmisji wiadomości, niski CR również pozwala ograniczyć czas transmisji. Przy niższej mocy występują problemy z odbiorem ramek, jednak może zostać to poprawione poprzez korzystniejsze ustawienie anteny odbiorczej.

## 6.4 Przesyłana ramka Lory

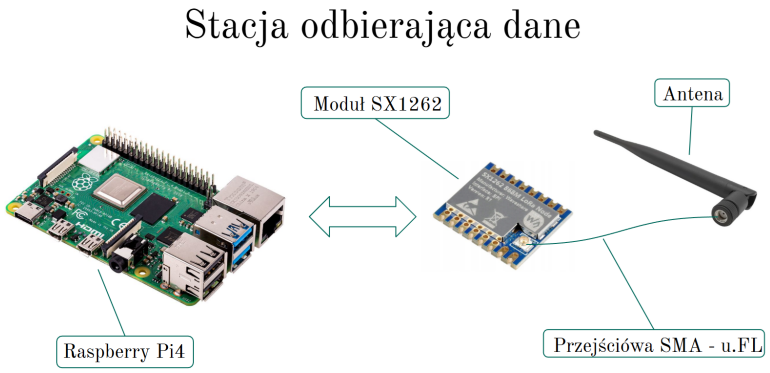
Obecnie przesyłamy w ramce długości 32 bajtów id stacji (w wypadku naszej stacji 01), średnią temperaturę za okres 5 minut dla czujnika DS18B20, średnią temperaturę dla BME280, średnią wilgtoność dla BME280 oraz wartość najmniejszą dla liczby wykonanych pomiarów (tj. gdy BME280 w czasie 5 minut wykona tylko 2 pomiary, a DS18B20 10, zostanie zwrócona wartość 2 - jest to informacja diagnostyczna pozwalająca zauważyć nieprawidłowości w działaniu czujników). Obecna ramka jest tylko tymczasowa, gdyż później zostanie również dodany pomiar prędkości wiatru i pomiary wewnątrz puszki instalacyjnej (wilgotność i temperatura - może być przesyłana wartość 0 lub 1 gdy np. zostanie przekroczony stan alarmowy).




Rysunek 12: Przesyłana ramka lora

## 6.5 Stacja odbierająca dane

Stacja ta składa się z Raspberry Pi 4B, modułu SX1262 oraz anteny. Pi odbiera dane za pomocą moduł Lora, parsuje je i wysyła w formacie JSON do brokera MQTT, dodając do odebranych danych punkt rosy obliczony z danych zebranych przez BME280.




Rysunek 13: Schemat stacji odbiorczej