

Protokół Komunikacyjny

System Sterowania Wędzarką

ESP32 + MQTT

Dokumentacja Techniczna

18 listopada 2025

Spis treści

| | | |
|-----------|--|----------|
| 1 | Wprowadzenie | 3 |
| 2 | Struktura Ramek | 3 |
| 2.1 | START_FRAME - Ramka Startowa | 3 |
| 2.1.1 | Szczegółowa Mapa Bajtów START_FRAME | 3 |
| 2.2 | UPDATE_FRAME - Ramka Aktualizacyjna | 3 |
| 2.2.1 | Szczegółowa Mapa Bajtów UPDATE_FRAME | 3 |
| 3 | Komendy i Stany | 4 |
| 3.1 | Komendy Sterujące | 4 |
| 3.2 | Stany Maszyny Stanów | 4 |
| 3.3 | Stany Sterowania Temperaturą | 4 |
| 3.4 | Stany Sterowania Wilgotnością | 4 |
| 4 | Diagram Maszyny Stanów | 5 |
| 5 | Regulator PI | 5 |
| 5.1 | Parametry Regulatora | 5 |
| 6 | Kolejki FreeRTOS | 6 |
| 6.1 | Opis Kolejek | 6 |
| 6.2 | Semafory | 6 |
| 7 | Przykłady Ramek | 7 |
| 7.1 | Przykład 1: START_FRAME | 7 |
| 7.2 | Przykład 2: UPDATE_FRAME | 7 |
| 7.3 | Przykład 3: CONFIRM_TAKEOUT | 7 |
| 8 | Konfiguracja Sprzętowa | 7 |
| 8.1 | Piny GPIO | 7 |
| 8.2 | Konfiguracja MQTT | 7 |
| 9 | Diagramy Sekwencji | 8 |
| 9.1 | Sekwencja Pełnego Cyklu Wędzenia | 8 |
| 10 | Formaty Danych | 8 |
| 10.1 | Temperatura | 8 |
| 10.2 | Wilgotność | 8 |
| 10.3 | Czas | 8 |

11 Podsumowanie

9

1 Wprowadzenie

System sterowania wędzarką wykorzystuje protokół komunikacyjny oparty na dwóch typach ramek:

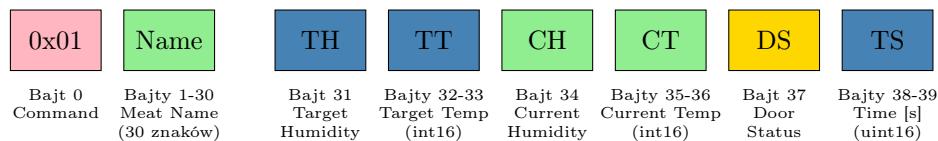
- **START_FRAME** - inicjalizacja procesu wędzenia
- **UPDATE_FRAME** - aktualizacja bieżących parametrów (temperatura, wilgotność)

Komunikacja odbywa się poprzez kolejki FreeRTOS oraz MQTT.

2 Struktura Ramek

2.1 START_FRAME - Ramka Startowa

Ramka inicjująca proces wędzenia. Całkowita długość: **40 bajtów**.



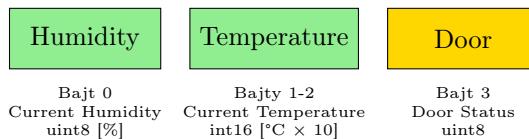
2.1.1 Szczegółowa Mapa Bajtów START_FRAME

| Offset | Rozmiar | Typ | Opis |
|--------|---------|--------|--|
| 0 | 1 B | uint8 | Komenda (0x01 = START) |
| 1-30 | 30 B | char[] | Nazwa mięsa (zakończona \0) |
| 31 | 1 B | uint8 | Docelowa wilgotność [%] |
| 32-33 | 2 B | int16 | Docelowa temperatura [°C × 10] |
| 34 | 1 B | uint8 | Aktualna wilgotność [%] |
| 35-36 | 2 B | int16 | Aktualna temperatura [°C × 10] |
| 37 | 1 B | uint8 | Status drzwi (0=zamknięte, 1=otwarcie) |
| 38-39 | 2 B | uint16 | Czas wędzenia [sekundy] |

Tabela 1: START_FRAME - Szczegółowa specyfikacja

2.2 UPDATE_FRAME - Ramka Aktualizacyjna

Ramka służąca do cyklicznej aktualizacji parametrów. Długość: **4 bajty**.



2.2.1 Szczegółowa Mapa Bajtów UPDATE_FRAME

| Offset | Rozmiar | Typ | Opis |
|--------|---------|-------|--------------------------------|
| 0 | 1 B | uint8 | Aktualna wilgotność [%] |
| 1-2 | 2 B | int16 | Aktualna temperatura [°C × 10] |
| 3 | 1 B | uint8 | Status drzwi (0/1) |

Tabela 2: UPDATE_FRAME - Szczegółowa specyfikacja

3 Komendy i Stany

3.1 Komendy Sterujące

| Komenda | Wartość | Opis |
|-----------------|---------|------------------------------|
| START_PROCESS | 0x01 | Rozpoczęcie procesu wędzenia |
| CONFIRM_TAKEOUT | 0xAA | Potwierdzenie wyjęcia mięsa |

Tabela 3: Komendy systemowe

3.2 Stany Maszyny Stanów

| Wartość | Stan | Opis |
|---------|-----------------------------------|--|
| 0 | SM_IDLE | Bezczynność, oczekiwanie na START |
| 1 | SM_HEATING | Nagrzewanie do temperatury docelowej |
| 2 | SM_HUMIDIFYING | Nawilżanie do wilgotności docelowej |
| 3 | SM_COOKING | Proces wędzenia (utrzymanie temp/wilg) |
| 4 | SM_FINISHED_COOKING | Zakończenie procesu wędzenia |
| 5 | SM_COOLDOWN | Schładzanie do 40°C |
| 6 | SM_READY_TO_TAKE_OUT | Gotowe do wyjęcia |
| 7 | SM_WAIT_FOR_TAKE_OUT_CONFIRMATION | Oczekiwanie na potwierdzenie |
| 8 | SM_ERROR | Stan błędu |

Tabela 4: Enumeracja stanów maszyny

3.3 Stany Sterowania Temperaturą

| Stan | Działanie |
|--------------|---|
| TEMP_HEATING | Nagrzewanie z regulatorem PI (PWM 80-255) |
| TEMP_HOLDING | Utrzymanie temperatury (regulator PI, offset 150) |
| TEMP_COOLING | Wyłączenie grzałki (PWM = 0) |

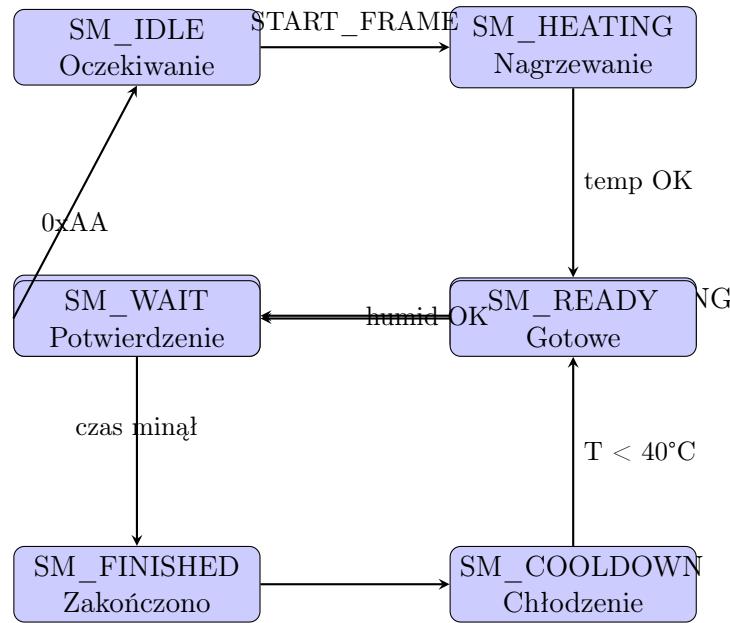
Tabela 5: Tryby sterowania temperaturą

3.4 Stany Sterowania Wilgotnością

| Stan | Działanie |
|---------------|---------------------------------------|
| HUMIDIFY_ON | Włączenie nawilżania (HIGH) |
| HUMIDIFY_HOLD | Utrzymanie wilgotności (włącz/wyłącz) |
| HUMIDIFY_OFF | Wyłączenie nawilżania (LOW) |

Tabela 6: Tryby sterowania wilgotnością

4 Diagram Maszyny Stanów



5 Regulator PI

System wykorzystuje regulator PI do sterowania temperaturą:

$$\text{output} = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt \quad (1)$$

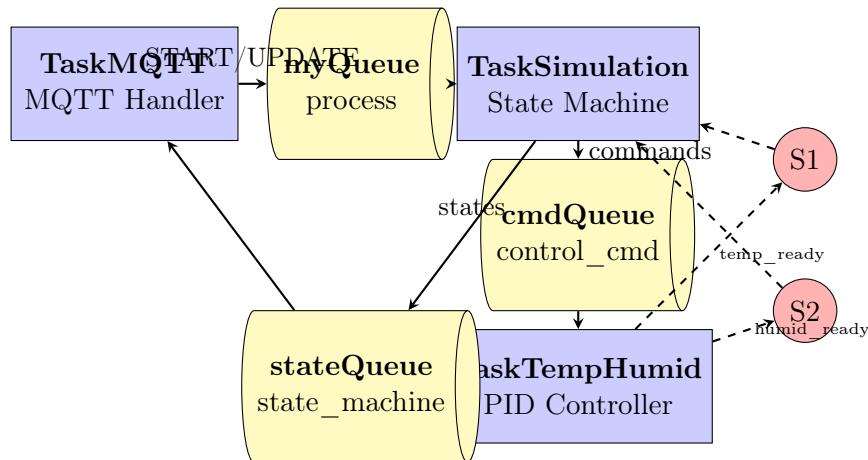
5.1 Parametry Regulatora

| Parametr | Wartość | Zastosowanie |
|---------------------|---------|----------------------------|
| K_p (nagrzewanie) | 2.5 | Wzmocnienie proporcjonalne |
| K_i (nagrzewanie) | 0.05 | Wzmocnienie całkujące |
| K_p (utrzymanie) | 1.5 | Łagodniejsze sterowanie |
| K_i (utrzymanie) | 0.03 | Mniejsza inercja |
| Integral Max | 100.0 | Anti-windup |
| PWM Min | 80 | Minimalne PWM (stabilność) |
| PWM Max | 255 | Maksymalne PWM |

Tabela 7: Parametry regulatora PI

6 Kolejki FreeRTOS

System wykorzystuje trzy kolejki do komunikacji między taskami:



6.1 Opis Kolejek

- **myQueue** - Przekazuje ramki `START_FRAME` i `UPDATE_FRAME` z MQTT do maszyny stanów
- **cmdQueue** - Wysyła komendy sterujące (temp/humid) z maszyny stanów do kontrolera
- **stateQueue** - Informuje MQTT o zmianach stanu maszyny

6.2 Semafora

- **sem_temp_ready** - Sygnalizuje osiągnięcie temperatury docelowej
- **sem_humid_ready** - Sygnalizuje osiągnięcie wilgotności docelowej

7 Przykłady Ramek

7.1 Przykład 1: START_FRAME

Rozpoczęcie procesu wędzenia schabu:

```
Bajt 0: 0x01          // START_FRAME command
Bajt 1-30: "Schab\0" // Nazwa mięsa (reszta wypełniona 0x00)
Bajt 31: 0x50          // Target Humidity = 80%
Bajt 32-33: 0x0258      // Target Temp = 600 (60.0 C)
Bajt 34: 0x1E          // Current Humidity = 30%
Bajt 35-36: 0x00FA      // Current Temp = 250 (25.0 C)
Bajt 37: 0x00          // Door Status = zamknięte
Bajt 38-39: 0x1C20      // Time = 7200s (2h)
```

7.2 Przykład 2: UPDATE_FRAME

Aktualizacja podczas procesu:

```
Bajt 0: 0x4B          // Current Humidity = 75%
Bajt 1-2: 0x0244      // Current Temp = 580 (58.0 C)
Bajt 3: 0x00          // Door Status = zamknięte
```

7.3 Przykład 3: CONFIRM_TAKEOUT

Potwierdzenie wyjęcia mięsa:

```
Bajt 0: 0xAA          // CONFIRM_TAKEOUT command
// (reszta ramki nieistotna)
```

8 Konfiguracja Sprzętowa

8.1 Piny GPIO

| Funkcja | Pin GPIO | Tryb |
|-------------|----------|-------------------|
| HEATING_PIN | 5 | PWM (1kHz, 8-bit) |
| FANS_PIN | 6 | PWM (1kHz, 8-bit) |
| WATER_PIN | 7 | Digital Output |

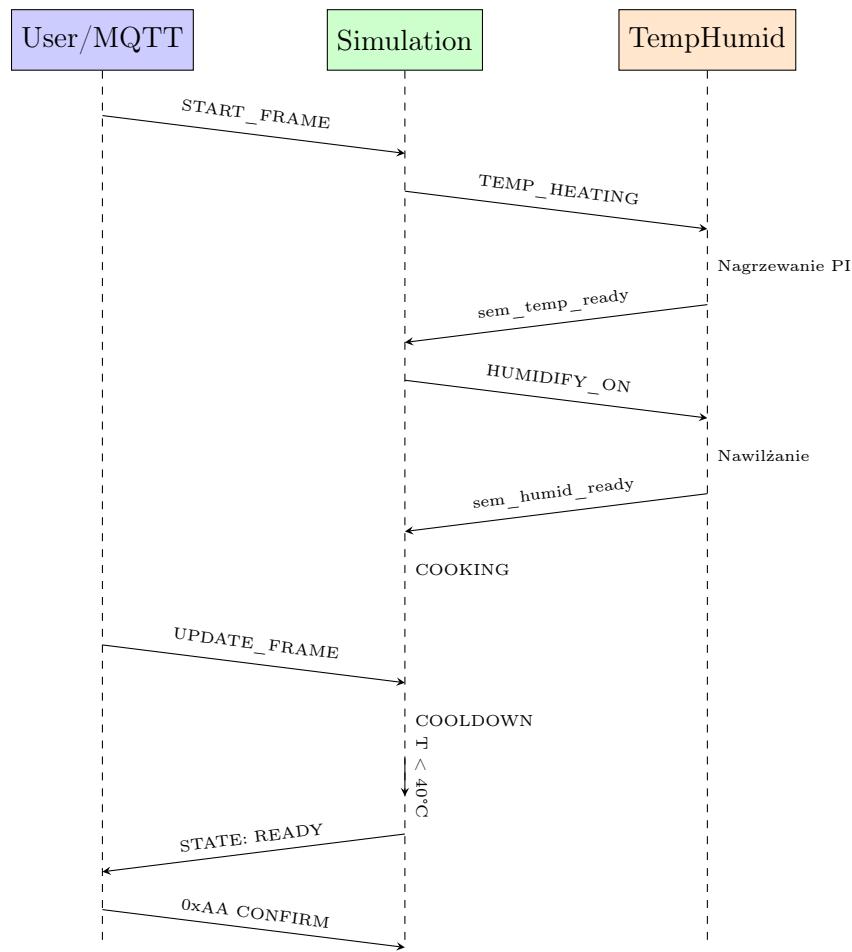
Tabela 8: Mapowanie pinów ESP32

8.2 Konfiguracja MQTT

```
MQTT Broker: (konfigurowalny)
Port: 1883 (standardowy)
Topics:
- Subscribed: (do zdefiniowania)
- Published: (stany maszyny)
```

9 Diagramy Sekwencji

9.1 Sekwencja Pełnego Cyklu Wędzenia



10 Formaty Danych

10.1 Temperatura

- **Typ:** `int16_t` (2 bajty, little-endian)
- **Format:** $^{\circ}\text{C} \times 10$ (dziesięć części stopnia)
- **Przykład:** $60.0^{\circ}\text{C} = 600 = 0x0258$
- **Zakres:** -3276.8°C do $+3276.7^{\circ}\text{C}$

10.2 Wilgotność

- **Typ:** `uint8_t` (1 bajt)
- **Format:** Procent [0-100%]
- **Przykład:** $75\% = 0x4B$
- **Zakres:** 0-255 (użytkowy: 0-100)

10.3 Czas

- **Typ:** `uint16_t` (2 bajty, little-endian)

- **Format:** Sekundy
- **Przykład:** 2 godziny = 7200s = 0x1C20
- **Zakres:** 0-65535s (18 godzin)

11 Podsumowanie

System sterowania wędzarką wykorzystuje:

- Dwutypowy protokół komunikacyjny (START + UPDATE)
- 9-stanową maszynę stanów
- Regulator PI do precyzyjnego sterowania temperaturą
- Komunikację asynchroniczną przez FreeRTOS i MQTT
- Obsługę temperatur z dokładnością 0.1°C