

Internet Rzeczy Projekt - BlackBox

Grupa Zajęciowa 2, zespół nr 3
Michał Krzempek, Kacper Machnik, Tomasz Madeja

22 stycznia 2025

Spis treści

1 Założenia Projektu

2 Architektura

3 Opis działania systemu

- 3.1 Stany płytki
- 3.2 Procedura zmiany użytkownika
- 3.3 Zachowanie systemu w przypadku utraty zasilania

4 Wykorzystane Czujniki

- 4.1 BMP280 - Czujnik Temperatury i Ciśnienia
- 4.2 MPU6050 - Akcelerometr i Żyroskop
- 4.3 KY026 - Czujnik służący do wykrywania podczerwieni

5 Wejścia oraz wyjścia

- 5.1 Wejścia Cyfrowe
- 5.2 Wyjścia cyfrowe

6 Wykorzystanie BLE

7 Pamięć nieulotna

- 7.1 NVS
- 7.2 Flash

8 Komunikacja MQTT

- 8.1 Struktura Tematów
 - 8.1.1 Tematy Kontrolne
 - 8.1.2 Tematy Danych
- 8.2 Format Komunikatów

9 Funkcjonalności Aplikacji Serwerowej

9.1	Zarządzanie Użytkownikami	
9.2	Zarządzanie Podróżami	
9.3	Wizualizacja Danych	
9.4	Przykładowe zrzuty ekranu z aplikacji webowej	

1 Założenia Projektu

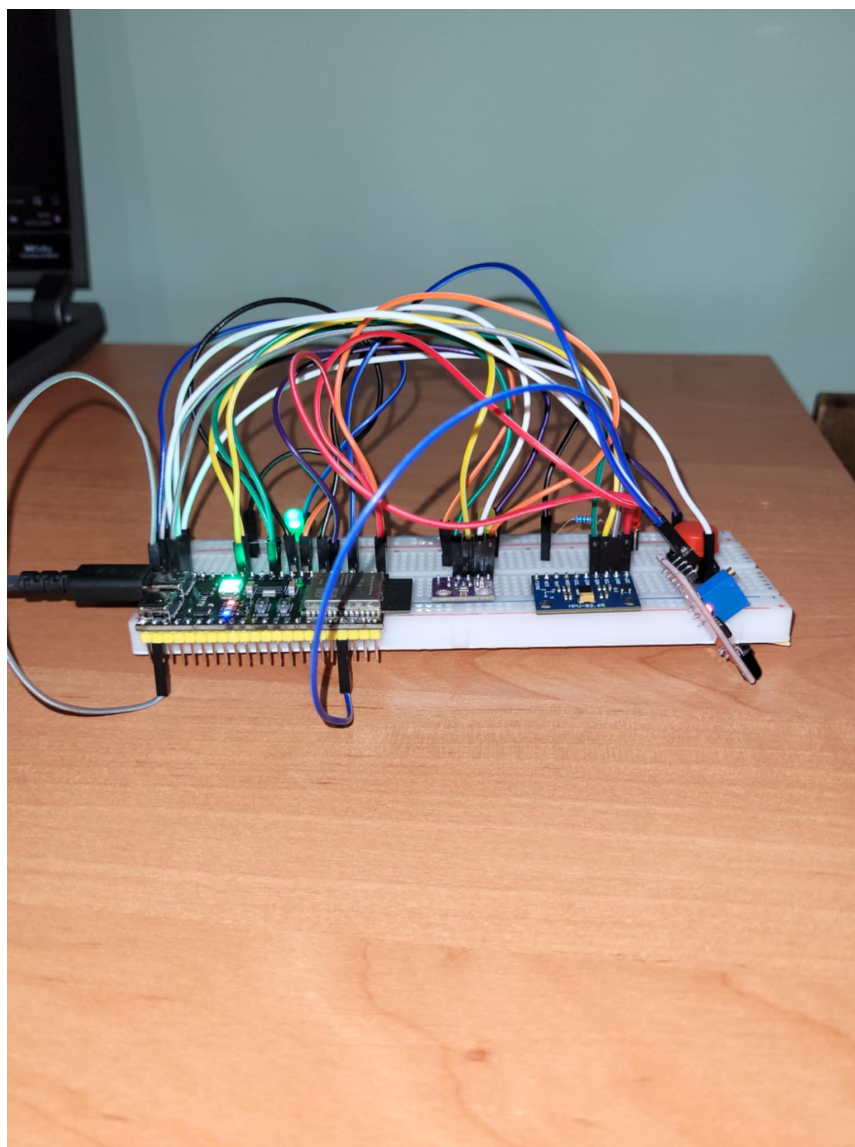
Projekt BlackBox to system monitorowania parametrów środowiskowych podczas transportu przesyłek. Główne funkcjonalności systemu obejmują:

- Monitorowanie parametrów środowiskowych:
 - temperatura i ciśnienie
 - przyspieszenie liniowe i prędkość kątową
 - wykrywanie podczzerwieni
- Synchronizacja czasowa pomiarów poprzez SNTP (Simple Network Time Protocol)
- Zdalna konfiguracja urządzenia z wykorzystaniem Bluetooth Low Energy oraz MQTT
- Transmisja danych do serwera z wykorzystaniem MQTT

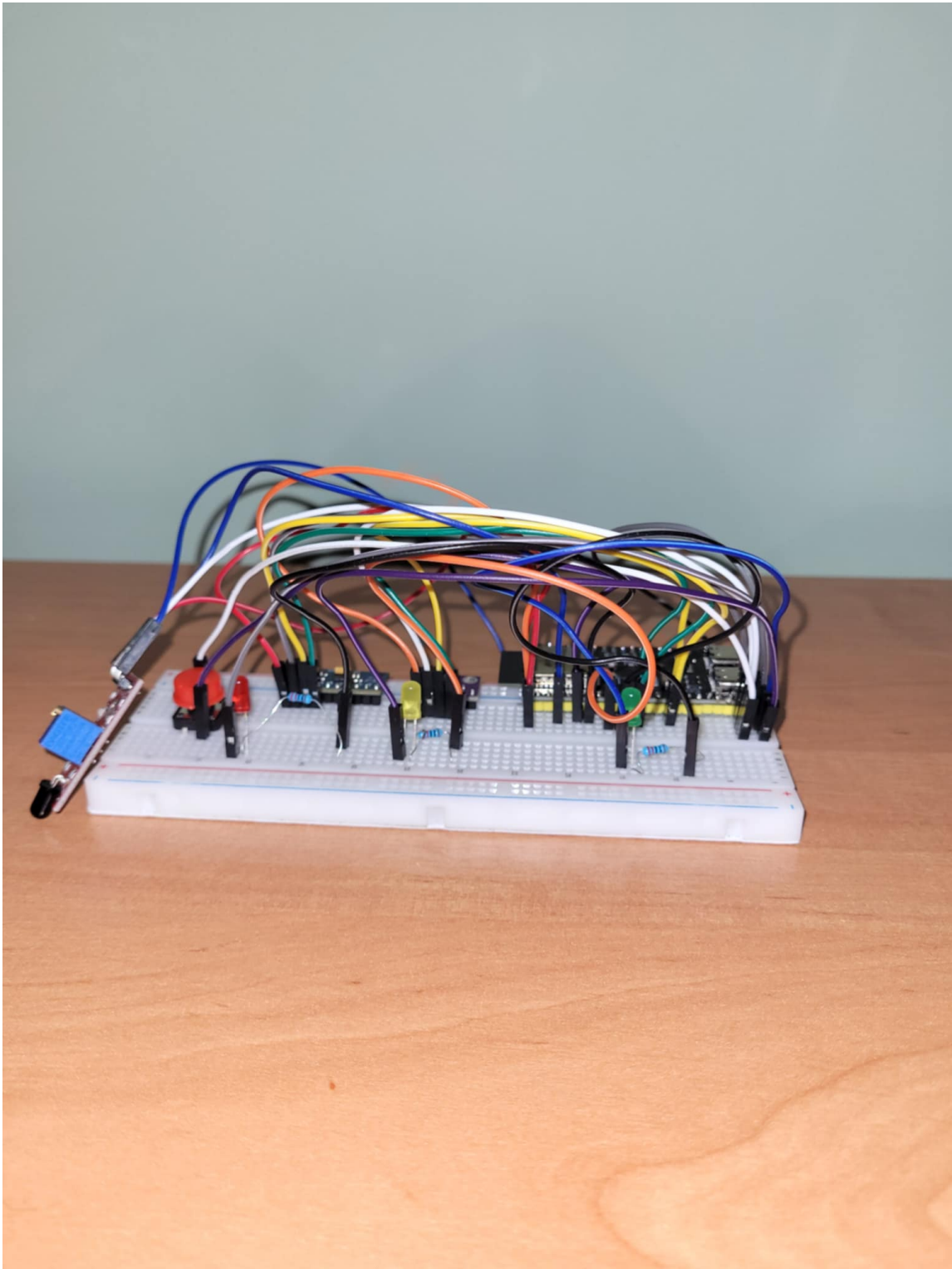
2 Architektura

Nasz projekt składa się z następujących części:

- ESP32 S3 N16R8 (16 MB pamięci FLASH oraz 8MB pamięci PSRAM)
- 3 diody (połączone kolejno do GPIO: 7, 16, 17)
- 1 przycisk (połączony do GPIO: 6)
- Czujnik BMP280 (podłączony przez I2C: SCL - GPIO: 9, SDA - GPIO: 8)
- Czujnik MPU6050 (podłączony przez I2C: SCL - GPIO: 9, SDA - GPIO: 8)
- Czujnik KY026 (Wyjście analogowe podpięte do: ADC 1 (GPIO 1), a wyjście cyfrowe do: GPIO 4)



Rysunek 1: ESP32 S3 i komponenty



Rysunek 2: ESP32 S3 i komponenty

3 Opis działania systemu

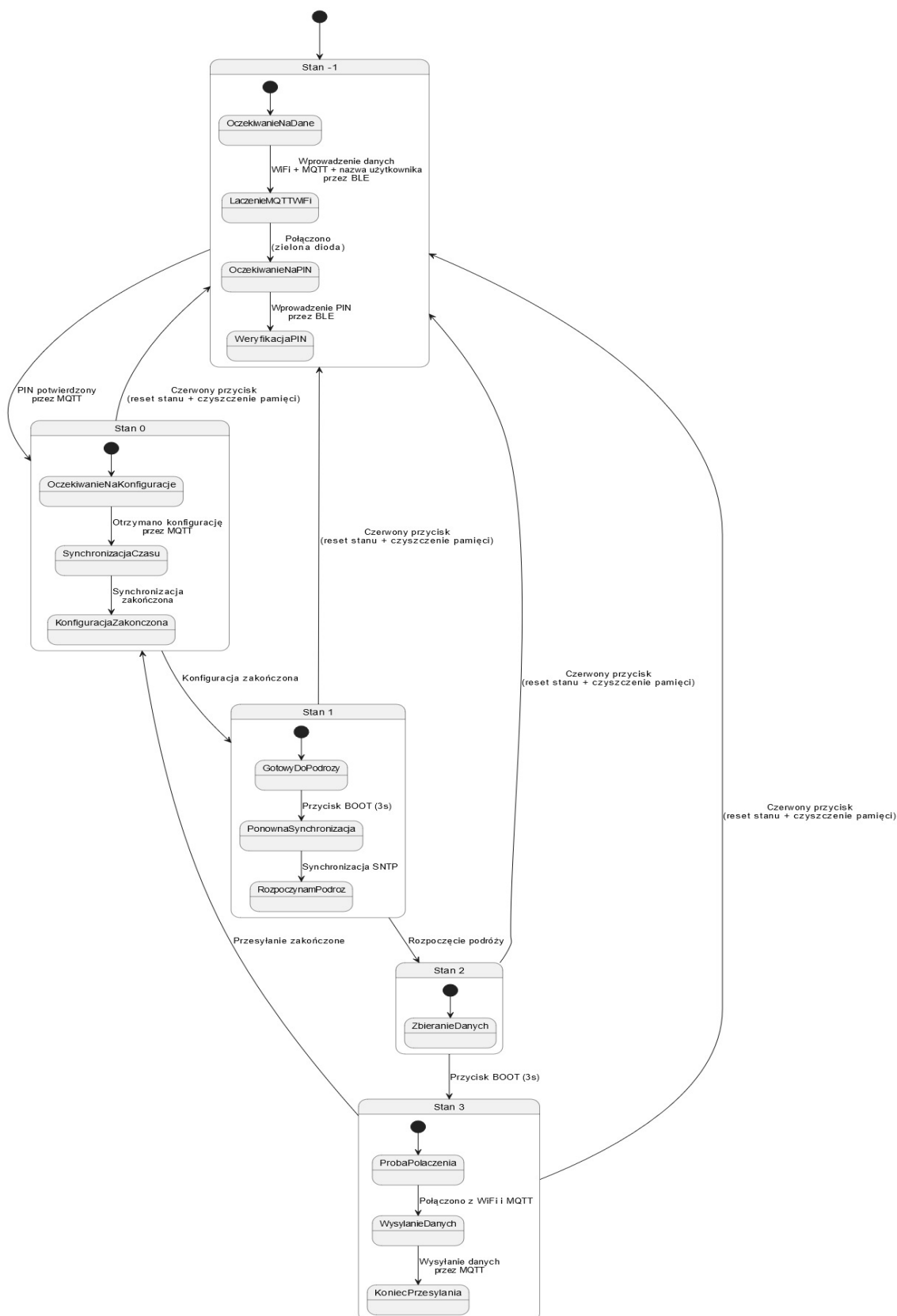
3.1 Stany płytki

W naszym systemie wyróżniamy 5 stanów, które sygnalizowane są dla użytkownika poprzez diodę znajdującą się na płytce i migającą na różne kolory:

- Stan **DEVICE_STATE_NOT_CONFIGURED (-1)** (*kolor pomarańczowy*) - jest to stan, w którym płytka nie jest połączona z żadnym użytkownikiem. W tym stanie użytkownik musi poprzez BLE podać dane do WiFi, adres brokera MQTT oraz swoją nazwę użytkownika z serwisu webowego. Gdy płytka połączy się z Wifi oraz MQTT (co sygnalizowane jest zaświeceniem się zielonej diody) użytkownik może podać PIN, ze swojego konta w serwisie webowym, poprzez BLE do weryfikacji. Jeżeli PIN zostanie potwierdzony (potwierdzenie nastąpi poprzez MQTT) stan zmienia się na 0.
- Stan **DEVICE_STATE_CONFIGURING (0)** (*kolor niebieski*) - jest to stan, w którym płytka jest połączona z konkretnym użytkownikiem. Płytka oczekuje na przekazanie jej, poprzez aplikację webową i MQTT, konfiguracji do podróży. Bezpośrednio po otrzymaniu konfiguracji płytka wyśle potwierdzenie otrzymania jej oraz spróbuje zsynchronizować czas poprzez SNTP. Po tym płytka zmieni swój wewnętrzny stan na 1.
- Stan **DEVICE_STATE_READY_TO_TRAVEL (1)** (*kolor żółty*) - jest to stan, w którym płytka jest gotowa do podróży. Podróż następuje poprzez 3 - sekundowe przytrzymanie przycisku BOOT znajdującego się na płytce. Ponieważ płytka mogła zostać skonfigurowana nieokreślony czas wcześniej przed podróżą, w tym momencie następuje ponowna próba synchronizacji czasu z SNTP.
- Stan **DEVICE_STATE_TRAVELLING (2)** (*kolor zielony*) - jest to stan sygnalizujący podróż. W tym stanie płytka zbiera dane z czujników. Dane są zapisywane do PSRAMu, a potem cyklicznie do pamięci FLASH. Aby zakończyć podróż należy ponownie przytrzymać przycisk przez 3 sekundy.
- Stan **DEVICE_STATE_AFTER_TRAVEL (3)** (*kolor purpurowy*) - jest to stan, w którym płytka, jeżeli nie jest połączona z WiFi i MQTT, będzie próbować połączyć się do skutku, a gdy to nastąpi, zacznie przysyłać zebrane dane z sensorów (odczytane z pamięci FLASH oraz to, co dalej jest w PSRAM) na serwer poprzez MQTT. Po zakończeniu przesyłania, płytka wraca do stanu 0, co umożliwia odbycie kolejnej podróży.

3.2 Procedura zmiany użytkownika

Aby przywrócić płytkę do stanu -1, czyli do stanu w którym można ją sparować z innym użytkownikiem, należy kliknąć dedykowany, czerwony przycisk. Ta czynność spowoduje zmianę stanu i usunięcie wszystkich zapisanych wartości z pamięci nieulotnej oraz w momencie przypisania płytki do nowego użytkownika (co następuje poprzez weryfikację PINu), automatycznie zostanie usunięta z konta poprzedniego właściciela wraz z historią jej podróży. Jeżeli użytkownik spróbuje przypisać płytkę drugi raz do tego samego konta to dane nie zostaną usunięte.



Rysunek 3: Diagram Stanów

3.3 Zachowanie systemu w przypadku utraty zasilania

Stan płytki jest zapisywany w pamięci nieulotnej. W przypadku utraty zasilania stan jest z niej odczytywany. Dla każdego wyróżnionego stanu w naszym systemie przewidziano możliwość utraty zasilania i zaimplementowano odpowiednie rozwiązania:

- Stan **DEVICE_STATE_NOT_CONFIGURED (-1)** (*kolor pomarańczowy*) - w tym stanie wszystkie zmienne pozyskane poprzez BLE (poza PINem) są zapisywane do NVS, dzięki czemu po utracie zasilania wymagane jest tylko podanie ewentualnych pozostałych danych.
- Stan **DEVICE_STATE_CONFIGURING (0)** (*kolor niebieski*) - w tym stanie oczekujemy na konfigurację czujników, która również po otrzymaniu są zapisywane do NVS. W przypadku utraty zasilania płytka po uruchomieniu ponownie próbuje połączyć się z Wifi i MQTT (do skutku) a następnie oczekuje na przesłanie konfiguracji.
- Stan **DEVICE_STATE_READY_TO_TRAVEL (1)** (*kolor żółty*) - w tym stanie po stracie zasilania również próbuje połączyć się z Wifi i MQTT w celu zsynchronizowania czasu poprzez SNTP. Dane konfiguracji czujników są automatycznie odczytywane z NVS.
- Stan **DEVICE_STATE_TRAVELLING (2)** (*kolor zielony*) - jest to stan sygnalizujący podróż. W tym stanie płytka zbiera dane z czujników. Dane są zapisywane do PSRAMu, a potem cyklicznie do pamięci FLASH. Po utracie zasilania system przestaje zbierać nowe dane, ponieważ nie da się określić na ile czasu utracono zasilanie. Dane, które zostały zapisane w pamięci FLASH są zachowane i po zakończeniu podróży możliwe do odczytania.
- Stan **DEVICE_STATE_AFTER_TRAVEL (3)** (*kolor purpurowy*) - jest to stan, w którym płytka, jeżeli nie jest połączona z Wifi i MQTT, będzie próbować połączyć się do skutku, a gdy to nastąpi, zacznie przysyłać zebrane dane z sensorów (odczytane z pamięci FLASH oraz to, co dalej jest w PSRAM) na serwer poprzez MQTT. W przypadku utraty zasilania, płytka ponownie spróbuje się połączyć z Wifi i MQTT i przesłać dane na serwer (tylko te z pamięci FLASH).

4 Wykorzystane Czujniki

4.1 BMP280 - Czujnik Temperatury i Ciśnienia

Czujnik BMP280 jest urządzeniem przeznaczonym do pomiaru temperatury oraz ciśnienia atmosferycznego. Komunikacja z czujnikiem odbywa się za pomocą interfejsu I2C. Zakres pomiarowy temperatury wynosi od $-40^{\circ}C$ do $+85^{\circ}C$, natomiast ciśnienia od 300 hPa do 1100 hPa. Dane pomiarowe są przetwarzane cyfrowo z rozdzielczością do 16 bitów. Strona internetowa umożliwia użytkownikowi konfigurację następujących parametrów:

- Dokładność pomiarów temperatury (oversampling - rejestr 0xF4) – pozwala ustawić stopień dokładności pomiarów. Wartość 0 oznacza brak wykonywania pomiarów temperatury.
- Dokładność pomiarów ciśnienia (oversampling - rejestr 0xF4) – umożliwia określenie dokładności pomiarów ciśnienia. Wartość 0 skutkuje wyłączeniem pomiarów ciśnienia.

- Filtr IIR (rejestr - 0xF5) – zapewnia filtrację danych pomiarowych, co pozwala na redukcję szumów w odczytach.
- Częstotliwość wykonywania i zapisywania pomiarów.

[Dokumentacja czujnika](#)

4.2 MPU6050 - Akcelerometr i Żyroskop

Czujnik MPU6050 łączy w sobie funkcjonalność akcelerometru i żyroskopu, umożliwiając pomiar przyspieszenia liniowego oraz prędkości kątowej. Komunikacja odbywa się poprzez interfejs I2C. Zakres pomiarowy przyspieszenia wynosi od $\pm 2g$ do $\pm 16g$, natomiast zakres pomiarowy prędkości kątowej mieści się w przedziale od $\pm 250^\circ/s$ do $\pm 2000^\circ/s$, oba z rozdzielczością 16-bitową.

Strona internetowa pozwala na konfigurację następujących parametrów:

- Dokładność pomiaru prędkości kątowej (rejestr - 0x1B) – umożliwia wybór zakresu pomiarowego, gdzie większy zakres zmniejsza precyzję dla małych wartości.
- Dokładność pomiaru przyspieszenia liniowego (rejestr - 0x1C) – pozwala ustawić zakres pomiarowy, analogicznie większy zakres skutkuje mniejszą dokładnością dla niskich wartości.
- Filtr dolnoprzepustowy (rejestr - 0x1A) – pozwala ograniczyć pomiary do wartości poniżej określonego progu, redukując zakłócenia.

Czujnik wykonuje pomiar co sekundę, a zapisywane są jedynie wartości, które spełniają poniższy wzór (dla każdego z 6 pomiarów jest obliczany osobno):

$$T_a = \text{base_threshold} + \text{scaling_factor} \cdot \text{current_acceleration}$$

$$T_v = \text{base_threshold} + \text{scaling_factor} \cdot \text{velocity}$$

Wartości dla wzorów na próg (T) zostały wyznaczone eksperymentalnie. Dla przyspieszenia zastosowaliśmy następujące parametry:

- $\text{base_threshold} = 0.05$,
- $\text{scaling_factor} = 0.01$.

Dla prędkości uzyskano wartości:

- $\text{base_threshold} = 2.5$,
- $\text{scaling_factor} = 0.01$.

[Dokumentacja czujnika](#)

4.3 KY026 - Czujnik służący do wykrywania podczerwieni

Czujnik KY026 jest przeznaczony do wykrywania źródeł promieniowania podczerwonego w zakresie długości fal od 760 nm do 1100 nm. Urządzenie umożliwia analogowy pomiar natężenia promieniowania w zakresie od 0 do 3,3 V, z rozdzielczością 12-bitową. Przetwarzanie analogowo-cyfrowe pozwala na uzyskanie wartości pomiarowych w przedziale od 0 do 4095, gdzie niższe wartości wskazują na silniejsze źródło promieniowania podczerwonego (w naszym przypadku otwarcie paczki), a wyższe wartości oznaczają brak lub bardzo słabe promieniowanie w tym paśmie.

[Dokumentacja czujnika](#)

5 Wejścia oraz wyjścia

5.1 Wejścia Cyfrowe

- **Przycisk do czyszczenia pamięci NVS**
 - Resetowanie zapisanych danych w pamięci nieulotnej (NVS) i przywrócenia płytki do stanu nieskonfigurowanego i niepołączonego z żadnym użytkownikiem.
- **Przycisk BOOT, znajdujący się na płytce, do włączania/wyłączania rozgłaszania Bluetooth**
 - Aby włączyć rozgłaszanie Bluetooth Low Energy należy nacisnąć przycisk. Włączone rozgłaszanie jest sygnalizowane świeceniem czerwonej diody.
- **Przycisk BOOT do włączania/wyłączania trybu podróży (przytrzymaj 3 sekundy)**
 - Aby rozpocząć lub zakończyć podróż należy przytrzymać przycisk BOOT przez 3 sekundy, zmiana stanu sygnalizowana jest kilkukrotnym miganiem żółtej diody.

5.2 Wyjścia cyfrowe

- **Dioda RGB LED sygnalizująca wewnętrzny stan płytki**
 - Migająca dioda znajdująca się na płytce, zmieniająca swój kolor zależnie od jednego z pięciu wyróżnionych wewnętrznych stanów.
- **Dioda LED sygnalizująca status komunikacji Bluetooth**
 - Czerwona dioda świeci się, gdy rozgłaszanie BLE jest włączone
- **Dioda LED sygnalizująca tryb podróży**
 - Żółta dioda mignie kilka razy, gdy podróż jest rozpoczynana lub kończona.
- **Dioda LED sygnalizująca wysyłanie danych z czujników**
 - Żółta dioda miga, gdy zapisane dane są przesyłane poprzez MQTT.
- **Dioda LED sygnalizująca połączenie z WiFi oraz MQTT**
 - Zielona dioda świeci, gdy płytka połączona jest z WiFi oraz MQTT.

6 Wykorzystanie BLE

Bluetooth Low Energy wykorzystywane jest do początkowej konfiguracji urządzenia oraz przypisania urządzenia do użytkownika:

- Konfiguracja połączenia WiFi (SSID i hasło)
- Konfiguracja brokera MQTT (URL)

- Konfiguracja użytkownika (nazwa użytkownika z serwera)
- Przesłanie PIN-u do połączenia płytki z kontem użytkownika

Wszystkie dane (poza PINem) zapisywane są do NVS, aby w razie odłączenia zasilania uniknąć konieczności ponownego podania danych.

Rozgłaszanie BLE jest uruchamiane za pomocą naciśnięcia przycisku BOOT znajdującego się na płytce, gdy rozgłaszanie jest włączone, świeci czerwona dioda.

7 Pamięć nieulotna

7.1 NVS

Moduł umożliwia zapis i odczyt kluczowych danych konfiguracyjnych do nieulotnej pamięci NVS. Dzięki temu konfiguracja urządzenia jest zachowywana nawet po jego ponownym uruchomieniu. W pamięci NVS zapisywane są następujące informacje:

- **Stan płytki** – określa aktualny stan urządzenia.
- **SSID** – nazwa sieci Wi-Fi, do której urządzenie ma się połączyć.
- **Hasło do sieci** – hasło zabezpieczające dostęp do sieci Wi-Fi.
- **Nazwa użytkownika** – identyfikator użytkownika korzystającego z urządzenia.
- **URL brokera** – adres URL brokera MQTT, z którym urządzenie ma nawiązać połączenie.
- **Konfiguracja czujników** – dane otrzymane z serwisu webowego do konfiguracji czujników.

7.2 Flash

Dane odczytane z każdego z sensorów są zapisywane do buforów w PSRAM o rozmiarze 4096 bajtów. Gdy któryś z buforów zostanie zapełniony w 90% następuje zapisanie danych w bloku pamięci FLASH. System umożliwia na zapisanie 12MB danych, po 4MB dla każdego z czujników. Dane, które zostały przeniesione do pamięci FLASH zostaną zachowane po utracie zasilania. Po zakończeniu podróży dane z pamięci FLASH są przenoszone do PSRAM, łączone z danymi z buforów, a następnie wysyłane na serwer.

8 Komunikacja MQTT

Protokół MQTT wykorzystywany jest do połączenia systemu z konkretnym użytkownikiem, przesłania z aplikacji webowej konfiguracji czujników oraz do wysyłania danych z sensorów.

8.1 Struktura Tematów

Format podstawowy: BlackBox/{User}/{MAC}/{Typ}

8.1.1 Tematy Kontrolne

- .../**Pin** - Weryfikacja PIN-u
- .../**Response** - Odpowiedź na weryfikację (1 - sukces / 0 - niepowodzenie)
- .../**Config** - Konfiguracja czujników
- .../**ConfigResponse** - Potwierdzenie otrzymania konfiguracji
- .../**Control** - Kontrola stanu przesyłania danych (true/false)

8.1.2 Tematy Danych

- .../**ky026** - Dane z czujnika podczerwieni
- .../**bmp280** - Dane temperatury i ciśnienia
- .../**mpu6050** - Dane z akcelerometru i żyroskopu

8.2 Format Komunikatów

Dane z czujników przesyłane są w formacie JSON zawierającym:

- timestamp - znacznik czasowy pomiaru
- wartości pomiarowe specyficzne dla danego czujnika

9 Funkcjonalności Aplikacji Serwerowej

Aplikacja serwerowa oferuje szeroki zakres funkcjonalności związanych z zarządzaniem użytkownikami, urządzeniami, podróżami oraz wizualizacją danych. Poniżej szczegółowo opisano dostępne funkcjonalności:

9.1 Zarządzanie Użytkownikami

- **Rejestracja i logowanie użytkowników:** System umożliwia użytkownikom zakładanie kont i logowanie przy użyciu nazwy użytkownika i hasła. Rysunki: [4](#), [5](#), [6](#).
- **Zarządzanie urządzeniami:**
 - Generowanie 90-sekundowego PINu w celach rejestracji urządzenia do użytkownika. Rysunek: [7](#)
 - Dodawanie nowych urządzeń (identyfikowanych przez adres MAC). Rysunek: [8](#)
 - Usuwanie urządzeń przypisanych do konta użytkownika. Rysunek: [8](#)
 - Zmiana nazw urządzeń w celu łatwiejszej identyfikacji. Rysunek: [8](#)

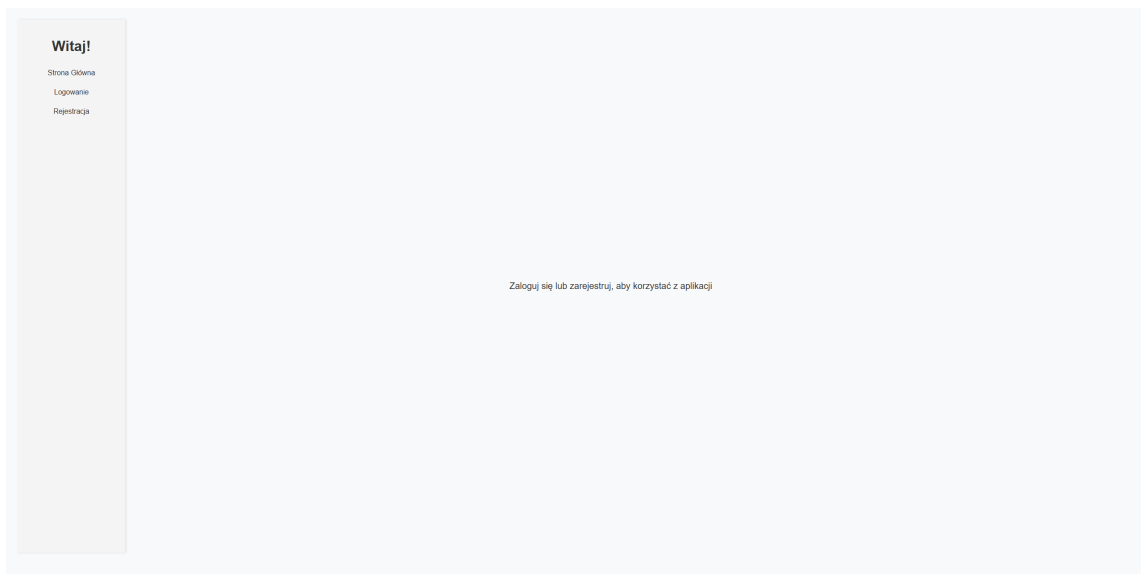
9.2 Zarządzanie Podróżami

- **Tworzenie nowych podróży:** Użytkownik może inicjować nowe podróże, przypisując je do wybranego urządzenia. Rysunek: [9](#)
- **Konfiguracja parametrów podróży:** Możliwość dostosowania parametrów pomiarowych, takich jak:
 - Zakres żyroskopu (od $\pm 250^\circ/\text{s}$ do $\pm 2000^\circ/\text{s}$).
 - Zakres akcelerometru (od $\pm 2g$ do $\pm 16g$).
 - Filtracja danych żyroskopu i akcelerometru (filtr dolnoprzepustowy).
 - Dokładność pomiarów (ciśnienia, temperatury, tłumienia szumów).
 - Częstotliwość pomiarów temperatury i ciśnienia w sekundach.
- **Przeglądanie historii podróży:** System oferuje listę poprzednich podróży z informacjami o:
 - Dacie rozpoczęcia i zakończenia podróży.
 - Przypisanym urządzeniu.
 - Szczegółowym widokiem dla każdej podróży.
- **Szczegółowy podgląd ostatniej podróży:** Podgląd obejmuje dane pomiarowe oraz wizualizacje. Rysunek: [12](#)

9.3 Wizualizacja Danych

- **Prezentacja danych w formie tabel:** Dane zarejestrowane podczas podróży (temperatura, ciśnienie, prędkość kątowna, przyspieszenie, podczerwień) są prezentowane w tabelach. Rysunki: [10](#), [11](#)
- **Generowanie wykresów:** System automatycznie tworzy wykresy na podstawie danych z czujników:
 - Temperatury w czasie.
 - Ciśnienia w czasie.
 - Prędkości kątowej w trzech osiach (x, y, z).
 - Przyspieszenia w trzech osiach (GX, GY, GZ).
- **Eksport danych:** Użytkownik może eksportować dane do plików CSV, umożliwiając dalszą analizę.

9.4 Przykładowe zrzuty ekranu z aplikacji webowej



Rysunek 4: Strona główna, gdy użytkownik nie jest zalogowany

Rejestracja

Nazwa uzytkownika

Haslo

Powtorz haslo

Zarejestruj

[Powrot](#)

Rysunek 5: Strona rejestracji

Logowanie

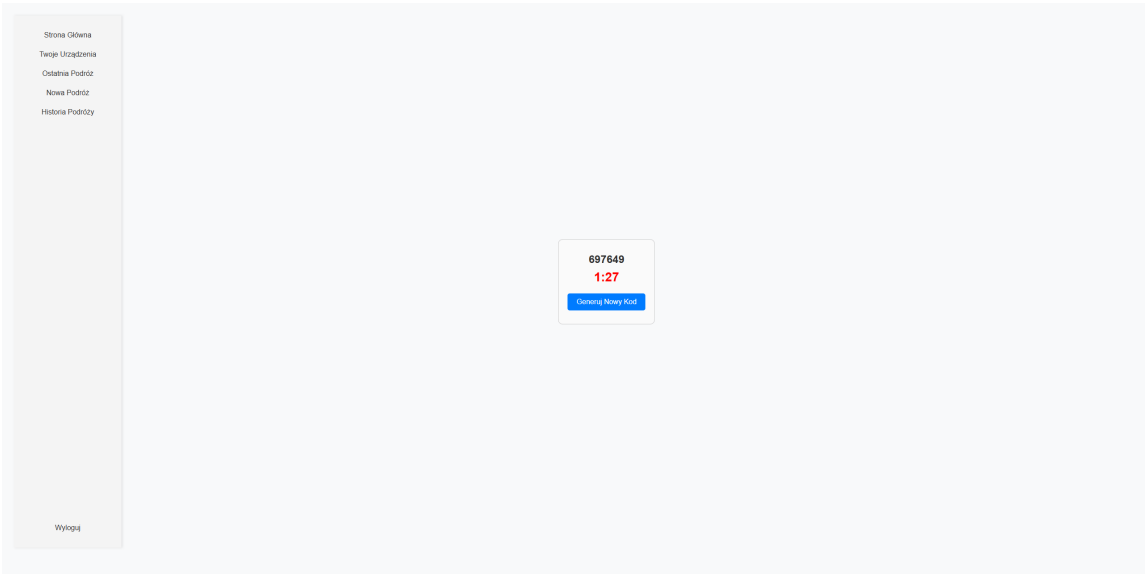
Nazwa uzytkownika

Haslo

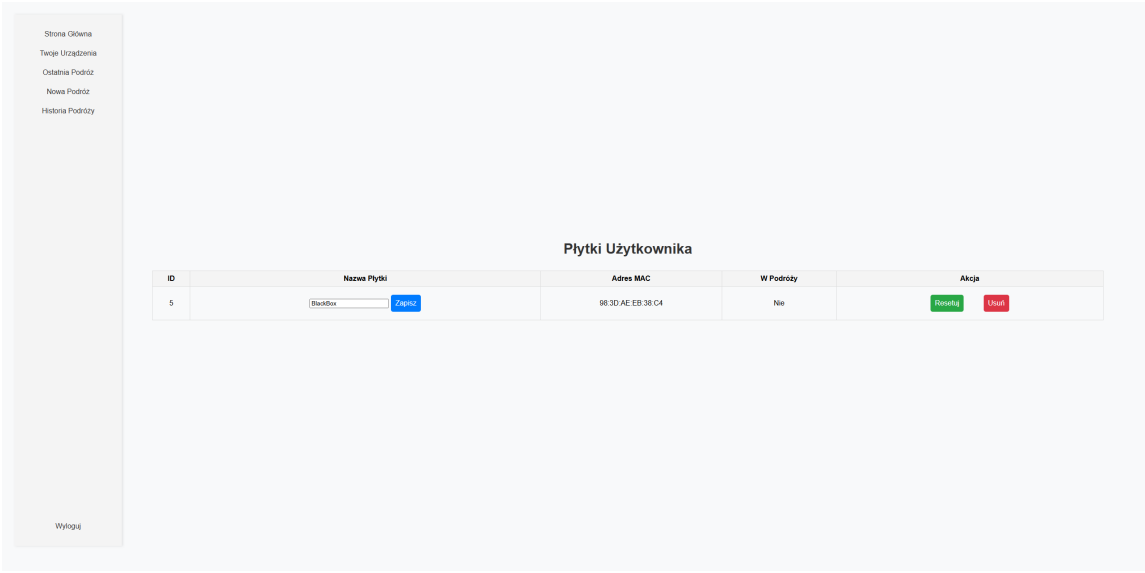
Zaloguj

[Powrot](#)

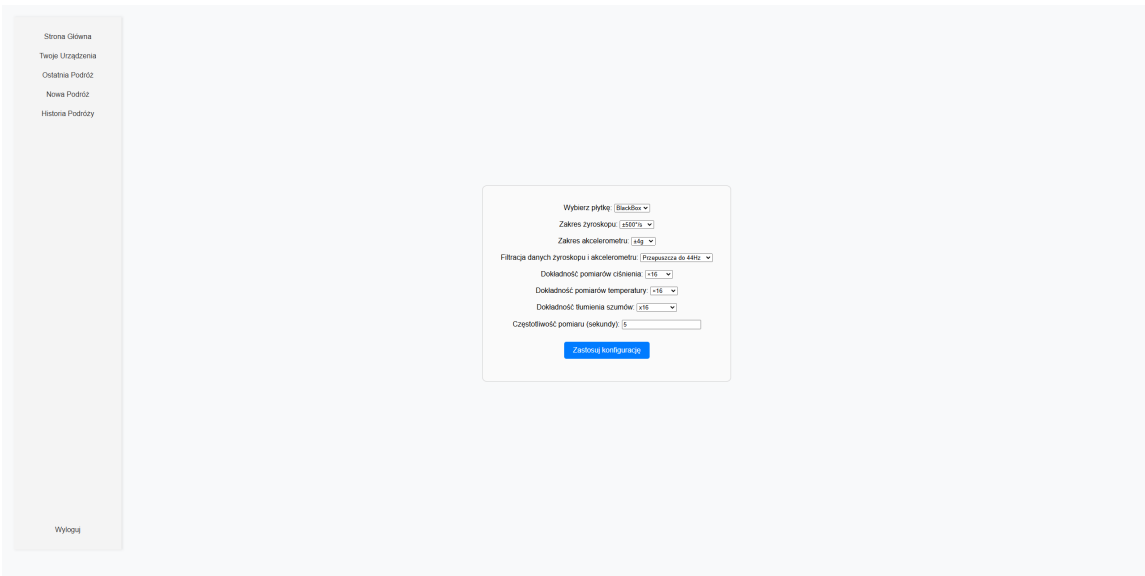
Rysunek 6: Strona logowania



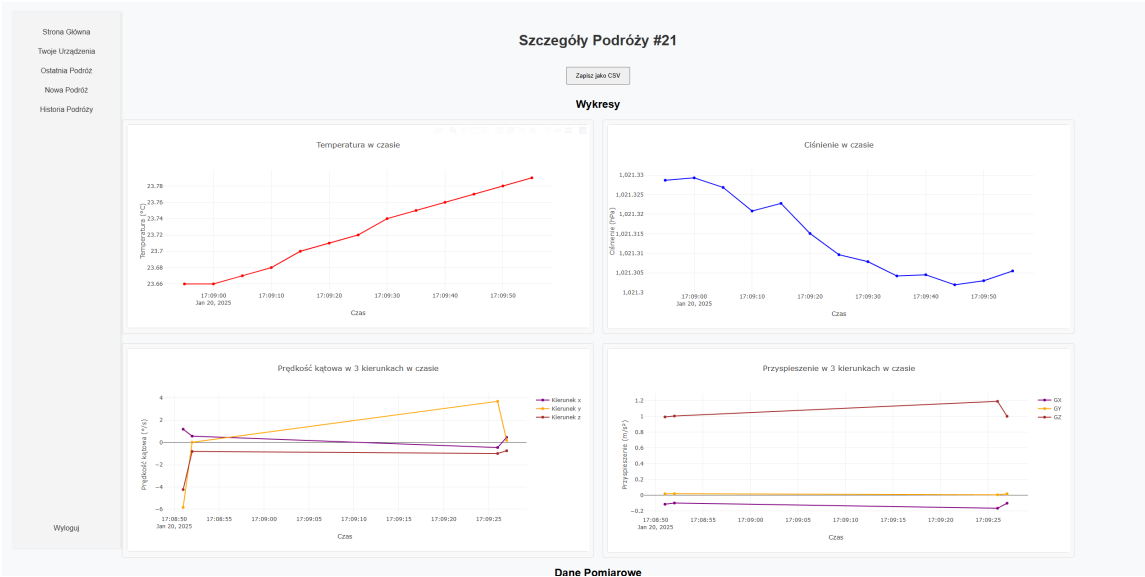
Rysunek 7: Strona główna po zalogowaniu



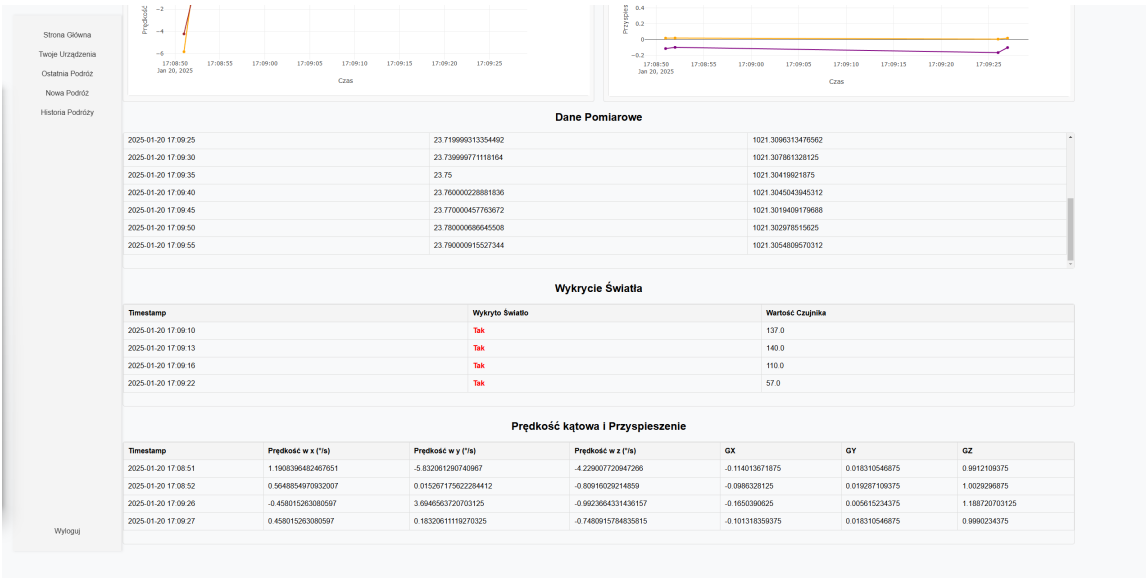
Rysunek 8: Strona z urządzeniami przypisanymi do użytkownika



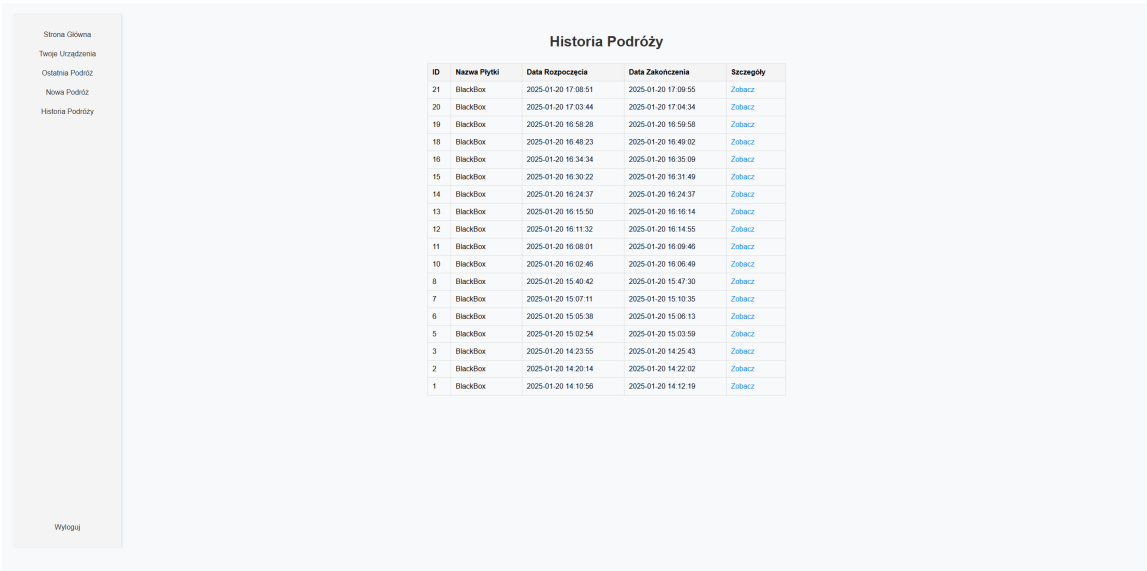
Rysunek 9: Strona z konfiguracją podróży



Rysunek 10: Strona ze szczegółami podróży cz.1



Rysunek 11: Strona ze szczegółami podróży cz.2



Rysunek 12: Strona z historią podróży