

STACJA POGODOWA Z ZEGAREM WYKORZYSTUJĄCA MIKROKONTROLER ESP32

Mateusz Misiak¹, Aleksandra Sikora^{2*}

¹Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Polska, s091297@student.tu.kielce.pl

²Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Polska, asikora@tu.kielce.pl

* Corresponding author

Streszczenie – Niniejsza publikacja ma na celu przedstawienie projektu i implementacji prototypowej stacji pogodowej z funkcją zegara, wykorzystującej mikrokontroler ESP32. Urządzenie może być wykorzystane jako przyrząd do monitorowania warunków środowiskowych, których zakres obejmuje temperaturę, wilgotność i ciśnienie atmosferyczne. Dane te są prezentowane na dotykowym wyświetlaczu LCD TFT oraz udostępniane za pośrednictwem serwera HTTP. Do archiwizacji pomiarów wykorzystano kartę SD, a dodatkowe funkcjonalności obejmują zarządzanie alarmami, przypomnieniami oraz odtwarzanie radia internetowego.

Słowa kluczowe – ESP32, IoT, mikrokontroler, pomiar pogody, stacja pogodowa, TFT LCD

WSTĘP

Rozwój technologii Internetu rzeczy (IoT) oraz rosnąca dostępność urządzeń elektronicznych otworzyły nowe możliwości tworzenia zaawansowanych systemów monitorowania środowiska w sposób przyjazny dla użytkowników indywidualnych. Jednym z takich rozwiązań są stacje pogodowe, które mają znaczenie zarówno w codziennym życiu, jak i w bardziej profesjonalnych zastosowaniach. [1]

Stacje pogodowe znajdują szerokie zastosowanie w życiu codziennym. Począwszy od planowania aktywności na świeżym powietrzu, poprzez ostrzeganie przed zmianami pogody, aż po wspieranie oszczędności energii, na przykład poprzez lepsze zarządzanie ogrzewaniem. [2]

Funkcja zegara w stacji pogodowej rozszerza jej możliwości, umożliwiając analizę danych w odniesieniu do konkretnych momentów w czasie dzięki zapisowi danych historycznych. Ponadto znacząco zwiększa praktyczność urządzenia, wykraczając poza podstawową rolę pomiaru czasu. [3]

W projektowanych rozwiązaniach często uwzględnia się również funkcje alarmów i przypomnień, co dodatkowo podnosi wszechstronność urządzenia. Integracja funkcji zegara z systemem monitorowania pogody zapewnia użytkownikowi dostęp do najważniejszych informacji w jednym, kompaktowym rozwiązaniu. [4]

I. WYKORZYSTANE TECHNOLOGIE I NARZĘDZIA

Mikrokontroler ESP32 został wybrany jako główny komponent projektu z uwagi na wbudowaną obsługę Wi-Fi i Bluetooth oraz wsparcie dla interfejsów komunikacyjnych takich jak I2C, SPI i I2S. Jego zasoby obliczeniowe i pamięć są wystarczające do realizacji założonych funkcji projektu. [5] Popularność ESP32 oraz dostępność bibliotek dodatkowo uprościły implementację. [6]

Arduino IDE zostało wybrane jako środowisko programistyczne z uwagi na łatwość obsługi, prostą instalację dodatków ESP32 oraz szerokie wsparcie dla języka C++ i dostępnych bibliotek. [7]

Prezentacja danych w przeglądarce, bez potrzeby instalowania dodatkowych aplikacji, jest możliwa dzięki zastosowaniu serwera WWW. Rozwiązanie to jest uniwersalne i działa na różnych platformach systemowych, co zwiększa jego dostępność. Strony internetowe są tworzone przy użyciu języków programowania HTML, CSS i JavaScript, co pozwala na przeniesienie części obliczeń, takich jak przetwarzanie i wizualizacja danych, na klienta (np. komputer lub smartfon). Dzięki temu zmniejsza się obciążenie mikrokontrolera, co poprawia jego wydajność i pozwala skupić zasoby na innych funkcjach urządzenia. [8]

Wybrano wyświetlacz TFT ILI9341 ze względu na dostępność bibliotek wspierających współpracę z ESP32 oraz możliwość wykorzystania wbudowanej funkcji dotyku. [9]

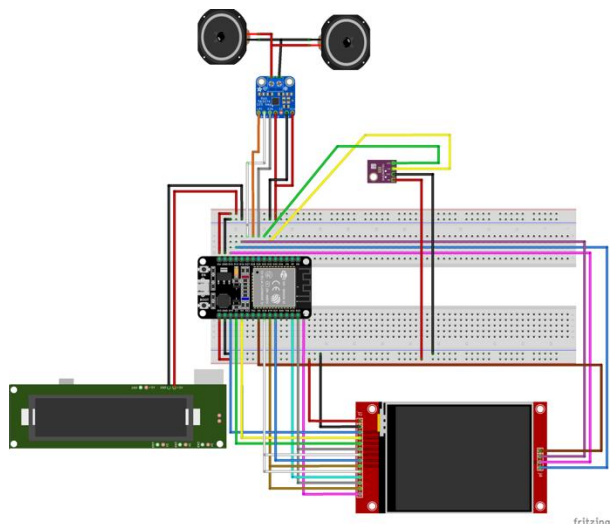
Do generowania dźwięku w urządzeniu zastosowano moduł MAX98357A. Jego zgodność z interfejsem I2S oraz wsparcie gotowych bibliotek umożliwiły implementację funkcji radia i alarmów dźwiękowych. [10]

Do pomiaru temperatury, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego wybrano czujnik BME280, wykorzystujący interfejs I2C. Komunikacja poprzez I2C ogranicza liczbę wymaganych połączeń przewodowych.

Dane są zapisywane w plikach CSV, które charakteryzują się prostotą implementacji oraz niskimi wymaganiami zasobowymi. Ten format jest szeroko wspierany i łatwy do dalszej analizy. [11]

II. STRUKTURA ZAPROJEKTOWANEGO SYSTEMU

Na schemacie przedstawionym na Rys. 1 zostały szczegółowo zobrazowane połączenia komponentów elektronicznych użytych podczas testów stacji pogodowej opartej na mikrokontrolerze ESP32. Zastosowanie płytki stykowej w fazie testowania pozwoliło na przejrzystą i modularną organizację połączeń, co ułatwia zarówno analizę, jak i ewentualne modyfikacje systemu.



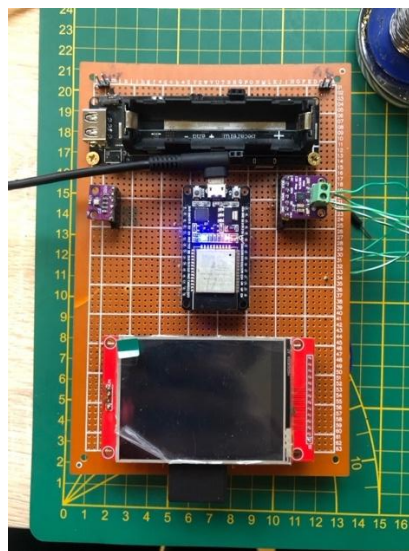
Rys. 1. Schemat połączeń opracowany w programie Fritzing wersja 0.9.4b.

III. PROJEKT I REALIZACJA PROTOTYPU

Na Rys. 2. przedstawiono zamontowane elementy urządzenia na uniwersalnej płytce. Każdy element urządzenia znajduje się na podstawce goldpin co umożliwia szybką wymianę w razie awarii modułu. Poniżej przedstawiono dodane komponenty dla ostatecznego montażu:

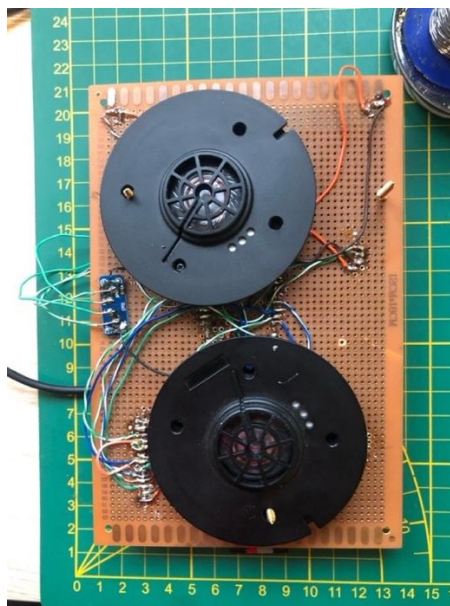
- **Karta pamięci SD** – zapis danych pomiarowych.
- **Ogniwo 18650 z demontażu** – wykorzystywane jako źródło zasilania.
- **Uniwersalna jednostronna płytka PCB** - wykorzystywana jako platforma do montażu i prototypowania układów elektronicznych, umożliwiając łączenie komponentów dzięki siatce otworów i ścieżkom miedzianym.
- **Głośniki z demontażu słuchawek** – wykorzystywane do odtwarzania dźwięku.

- **Przewody RJ45** - wykorzystywane do realizacji połączeń z modułami ESP32, zapewniając transmisję danych oraz stabilność komunikacji.
- **Podstawki goldpin o rastrze 2,54 mm** - wykorzystywane jako złącza do montażu komponentów elektronicznych, umożliwiając łączenie i rozłączanie elementów na płytkach PCB.



Rys. 2. Przednia strona urządzenia wraz z zamontowanymi komponentami.

Na Rys. 3 przedstawiono dodane głośniki do urządzenia po sprawdzeniu poprawności połączeń. Wykorzystano głośniki z demontażu słuchawek, co wpisuje się w ideę recyklingu i ponownego wykorzystania komponentów elektronicznych. Takie podejście jest ekologiczne, ponieważ ogranicza ilość elektroodpadów oraz promuje zrównoważone wykorzystanie zasobów.



Rys. 3. Tylna strona urządzenia wraz z zamontowanymi głośnikami z demontażu słuchawek.

IV. INTERFEJS UŻYTKOWNIKA I SYSTEM WEBOWY

Interfejs użytkownika na wyświetlaczu TFT jest złożony z kilku elementów. Wyświetlane są podstawowe informacje o czasie, takie jak godzina, data, dzień tygodnia, dzień roku, długość dnia oraz godziny wschodu i zachodu słońca. Czas jest synchronizowany z serwerem NTP, a data oraz dzień roku są obliczane na podstawie czasu UNIX (EPOCH), czyli liczby sekund, które upłynęły od 1 stycznia 1970 roku. Godziny wschodu i zachodu słońca są pobierane przez zewnętrzne API. Brak polskich znaków w opisie wyniku z ograniczeń w używanej bibliotece. Na ekranie wyświetlany jest adres IP urządzenia, umożliwiający połączenie się z nim używając przeglądarki internetowej.

Głównym elementem pogodowym interfejsu są trzy wskaźniki: wilgotności, temperatury i ciśnienia. (Rys. 4) Każdy wskaźnik zawiera skalę dostosowaną do zakresu operacyjnego czujnika, wskazówkę pokazującą aktualną wartość oraz tekst z wartością pomiaru. Dotknięcie danego wskaźnika otwiera wykres zmian pomiarów w czasie dla danej zmiennej.



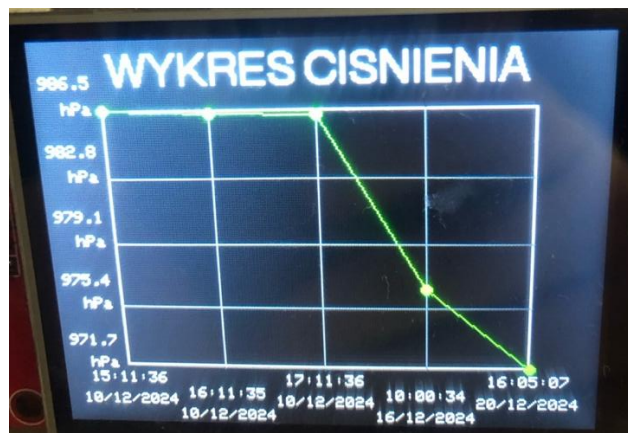
Rys. 4. Interfejs użytkownika na wyświetlaczu.

W stacji pogodowej wysokość nad poziomem morza nie jest podawana na stałe, ponieważ urządzenie może być używane w różnych lokalizacjach, a wysokość ta zmienia się w zależności od miejsca pomiaru. Wartość wysokości powinna być wprowadzana dynamicznie, aby zapewnić dokładność przeliczeń ciśnienia do poziomu morza.

Wykres zmian ciśnienia zarejestrowanego przez urządzenie w czasie został przedstawiony na Rys. 5. Widoczny gwałtowny spadek ciśnienia atmosferycznego wskazuje na możliwość zbliżania się załamania pogody, co potwierdza jego przydatność w prognozowaniu warunków atmosferycznych.

Zmiany ciśnienia atmosferycznego są istotnym wskaźnikiem prognozy pogody. Gwałtowne spadki ciśnienia, widoczne na wykresie, mogą oznaczać zbliżanie się dynamicznych zmian pogodowych, takich jak burze lub fronty atmosferyczne. Stopniowy wzrost ciśnienia wskazuje natomiast na poprawę warunków pogodowych.

Na wykresie zarejestrowano zmiany ciśnienia w jednostkach hPa w określonych przedziałach czasowych.



Rys. 5. Wykres ciśnienia na wyświetlaczu.

Główna strona urządzenia HTTP została przedstawiona na Rys. 6 oraz Rys. 7. Zawiera elementy, takie jak dzień, data, godzina, długość dnia, dzień roku, wschód i zachód słońca. Wykorzystano technologie HTML, CSS oraz JavaScript do jej implementacji. Na stronie znajdują się także linki prowadzące do różnych podstron, umożliwiających nawigację do funkcji takich jak wykresy, przypomnienia czy alarmy.

Pod główną częścią umieszczono tabelę prezentującą aktualne dane z czujnika, które są odświeżane automatycznie co 10 sekund. Dane te są resetowane przy każdym odświeżeniu strony.

Stacja Pogodowa					
Sobota, 7.12.2024, 12:02:13					
Długość dnia: 7h 53m					
Leczenie roku: 345					
Wschód słońca: 07:32					
Zachód słońca: 15:25					
Wybierz jedną z opcji:					
Temperatura Wilgotność Ciśnienie Alarm Przypomnienie					
Aktualne dane z czujnika					
Data	Czas	Temperatura (°C)	Wilgotność (%)	Ciśnienie (hPa)	
8.12.2024	12:05:44	20.95	54.73	978.83	
8.12.2024	12:21:16	19.33	57.45	978.77	
8.12.2024	12:35:16	19.13	58.51	978.78	
8.12.2024	18:24:03	22.46	52.69	973.58	
8.12.2024	18:28:03	22.58	52.64	973.61	
8.12.2024	18:22:03	22.60	52.47	973.99	
8.12.2024	18:21:03	22.54	52.60	973.56	

Rys. 6. Fragment strony głównej WWW.

Pod tabelą znajduje się dodatkowa tabela umożliwiająca wyszukiwanie i przeglądanie danych historycznych zapisywanych co godzinę. W kolejnej części została przedstawiona obsługa radia, które można włączać i wyłączać używając przycisku. Użytkownik ma możliwość regulacji głośności wykorzystując suwak oraz ustawienia własnego adresu URL dla strumienia radia. Domyślnie odtwarzane jest predefiniowane radio skonfigurowane przez użytkownika. Na końcu interfejsu dostępny jest link umożliwiający pobranie pliku CSV z danymi zapisanymi na karcie SD.

Data	Czas	Temperatura (°C)	Wilgotność (%)	Ciepłota (hPa)
16/11/2024	18:13:35	21.9	59.9	976.5
16/11/2024	19:13:35	18.5	54.0	975.9
16/11/2024	20:13:34	18.5	57.9	975.4
16/11/2024	21:13:34	20.5	57.5	975.3
17/11/2024	12:02:18	22.0	47.6	968.8
17/11/2024	13:02:18	21.7	51.2	968.0
17/11/2024	15:40:12	22.3	44.4	967.1
17/11/2024	16:40:13	21.9	50.7	966.9
17/11/2024	17:40:12	21.6	51.0	966.7

Rys. 7. Fragment strony głównej WWW.

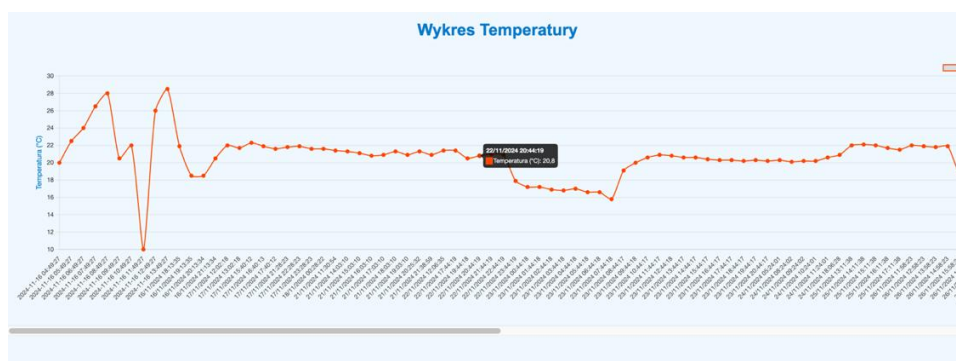
Dane w formacie CSV przedstawione na Rys. 8, zapewniają przejrzystość oraz łatwość analizy danych w aplikacjach zewnętrznych, takich jak arkusze kalkulacyjne. Każdy wiersz pliku odpowiada pojedynczemu pomiarowi, a kolumny opisują konkretne zmienne, co umożliwia ich późniejszą wizualizację lub analizę.

dane

date	time	temperature	humidity	pressure
16/11/2024	18:13:35	21.9	59.9	976.5
16/11/2024	19:13:35	18.5	54.0	975.9
16/11/2024	20:13:34	18.5	57.9	975.4
16/11/2024	21:13:34	20.5	57.5	975.3
17/11/2024	12:02:18	22.0	47.6	968.8
17/11/2024	13:02:18	21.7	51.2	968.0
17/11/2024	15:40:12	22.3	44.4	967.1
17/11/2024	16:40:13	21.9	50.7	966.9
17/11/2024	17:40:12	21.6	51.0	966.7

Rys. 8. Fragment danych z pliku CSV zaimportowany do programu Numbers.

Opisany wykres danych historycznych, który jest wyświetlany na podstronie dotyczącej temperatury przedstawionej na Rys. 9, prezentuje wszystkie dane zapisane w pliku CSV. Wykres ma funkcje interaktywne, takie jak możliwość przesuwania, przybliżania oraz sprawdzania wartości w konkretnym punkcie. Analogicznie, dla wilgotności i ciśnienia, zostały stworzone odrębne podstrony, które działają na tych samych



Rys. 9. Fragment wykresu temperatury.

zasadach. Każda z podstron umożliwia przejrzystą i interaktywną wizualizację danych zapisanych na karcie SD.

Na Rys. 10 przedstawiono interfejs umożliwiający konfigurację systemu alarmowego. Użytkownik może definiować progi alarmowe dla parametrów środowiskowych: temperatury, wilgotności i ciśnienia. Dla każdego z nich dostępne jest ustawienie zakresu górnego (maksymalnego) i dolnego (minimalnego). Alarm można aktywować lub dezaktywować za pomocą przycisku „Włącz Alarm”. Dodatkowo istnieje możliwość przesłania własnego pliku dźwiękowego w formacie MP3, który zastąpi standardowy sygnał alarmowy w przypadku przekroczenia ustalonych progów.

Interfejs przypomnień (Rys. 10) umożliwia użytkownikowi tworzenie spersonalizowanych powiadomień. Można określić dokładny czas aktywacji przypomnienia oraz wprowadzić dowolny komunikat tekstowy, który zostanie wyświetlony w wybranym momencie. Analogicznie do funkcji alarmu, użytkownik ma opcję przesłania pliku MP3, który będzie odtwarzany wraz z pojawieniem się przypomnienia.

Konfiguracja Alarmu

Status Alarmu: Wyłączony (Włącz Alarm)

Ustawienia Progów Alarmowych

Próg temperatury (górny, °C):
Próg temperatury (dolny, °C):
Próg wilgotności (górny, %):
Próg wilgotności (dolny, %):
Próg ciśnienia (górny, hPa):
Próg ciśnienia (dolny, hPa):

Prześlij Własny Dźwięk Alarmu
Wybierz plik MP3: (Wybierz plik, Nie wybrano pliku)

Ustawienie Przypomnienia

Czas: (Time picker)
Wiadomość: (Text input)
Wprowadź swoją wiadomość

Wgraj dźwięk przypomnienia
Wybierz plik MP3: (Wybierz plik, Nie wybrano pliku)

Rys. 10. Zrzut ekranu z strony alarmu oraz przypomnień.

V. TESTOWANIE I OCENA SYSTEMU

Na Rys. 11 został przedstawiony ekran urządzenia podczas testowego wywołania funkcji przypomnienia. Test polegał na ustawieniu przypomnienia na godzinę 09:04, po której wyświetlono komunikat „Przypomnienie! Wiadomość testowa”. Sprawdzone poprawność wyświetlania czasu i treści przypomnienia, kontrast, czytelność komunikatu oraz sygnał dźwiękowy. Przypomnienie zostało wyświetlone punktualnie, potwierdzając synchronizację z zegarem urządzenia.

Test zakończył się sukcesem, a funkcjonalność przypomnień oceniono jako działającą poprawnie.



Rys. 11. Test przypomnienia.

Na Rys. 12 został przedstawiony ekran urządzenia w momencie wywołania alarmu po przekroczeniu zaprogramowanych progów. Alarm został aktywowany, a ekran zmienił kolor na czerwony, wyświetlając komunikat „ALARM!”. Na ekranie pokazano wartości parametrów środowiskowych: temperatura wynosi 20,6°C, wilgotność 62,8%, a ciśnienie 976,0 hPa.

Test potwierdził prawidłowe działanie systemu detekcji przekroczenia progów oraz wyraźną sygnalizację wizualną oraz dźwiękową. Funkcja alarmu została oceniona jako skuteczna i działająca zgodnie z założeniami projektu.



Rys. 12. Test alarmu.

Na Rys. 13 przedstawione zostały wyniki pomiarów uzyskane przez urządzenie w warunkach terenowych. Wyświetlone zostały aktualna godzina, data, dzień roku oraz czas wschodu i zachodu słońca.

Zarejestrowane parametry środowiskowe to wilgotność na poziomie 67,1%, temperatura wynosząca 3,3°C oraz ciśnienie atmosferyczne o wartości 971,7 hPa.



Rys. 13. Interfejs użytkownika na wyświetlaczu.

Przeliczenie ciśnienia z wartości zarejestrowanej przez czujnik BME280 (971,7 hPa) na wartość zredukowaną do poziomu morza można wykonać za pomocą wzoru:

$$P_0 = P \cdot \left(1 - \frac{h}{44330}\right)^{-5.255} \quad [12]$$

gdzie:

- P_0 – ciśnienie zredukowane do poziomu morza [hPa],
- P – ciśnienie zmierzone przez czujnik na danej wysokości [hPa],
- h – wysokość nad poziomem morza [m].
- Wartość 44330 jest stałą, która wynika z gradientów temperatury i ciśnienia w standardowej atmosferze.
- 5.255 – wykładnik wynikający z równania stanu gazu doskonałego

Dane wysokościowe dla wybranej lokalizacji pobrano z serwisu <https://www.wysokosciomierz.pl/> i wynoszą 329 m n.p.m.

$$P_0 = 971.7 \cdot \left(1 - \frac{329}{44330}\right)^{-5.255}$$

$$P_0 \approx 1010.49 \text{ hPa}$$

Ciśnienie zredukowane do poziomu morza wynosi około 1010.49 hPa

VI. WNIOSKI

Celem projektu było opracowanie i zbadanie prototypu stacji pogodowej z funkcją zegara, opartej na mikrokontrolerze ESP32.

Cel zrealizowano, a w ramach pracy rozwiązano problemy techniczne, takie jak zarządzanie ograniczonymi zasobami pamięci mikrokontrolera oraz integracja różnych modułów w jedną, spójną architekturę. Zaimplementowano algorytmy obsługi czujników, zapisu danych na kartę SD oraz generowania wykresów.

Przeprowadzone testy wykazały, że urządzenie spełnia wszystkie założenia projektowe. Dane pomiarowe są odświeżane w założonym czasie, zapewniając użytkownikowi bieżący dostęp do aktualnych informacji. Interfejs webowy umożliwia monitorowanie danych w czasie rzeczywistym, a możliwość konfiguracji progów alarmowych i przypomnień podnosi funkcjonalność systemu.

Projekt stacji pogodowej z zegarem, oparty na ESP32, udowodnił, że używając dostępnych technologii można stworzyć urządzenie o wysokiej funkcjonalności i praktycznym zastosowaniu. Jego otwarta architektura umożliwia dalszą rozbudowę i adaptację do specyficznych potrzeb użytkowników.

WEATHER STATION WITH A CLOCK USING ESP32 MICROCONTROLLER

Abstract: This publication aims to present the design and implementation of a prototype weather station with a clock function, based on the ESP32 microcontroller. The device can be used as an instrument for monitoring environmental conditions, including temperature, humidity, and atmospheric pressure. These data are displayed on a touchscreen TFT LCD and made accessible via an HTTP server. An SD card is used for data archiving, and additional features include alarm management, reminders, and internet radio playback.

Key words: ESP32, IoT, microcontroller, TFT LCD, weather station

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Synowiec, „Wykorzystanie Internetu rzeczy w zarządzaniu inteligentnym miastem”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Zarządzanie*, t. 34, nr 1, s. 155–166, cze. 2019, doi: 10.17512/znpcz.2019.2.14.
- [2] W. Górna, „WPŁYW POGODY NA ŻYCIE CODZIENNE CZŁOWIEKA”, *Badania Fizjograficzne Seria A - Geografia Fizyczna*, t. 11, nr A 71, Art. nr A 71, grudz. 2020, doi: 10.14746/bfg.2020.11.2.
- [3] P. Szymański, M. Szymański, M. Śmieja, M. Brach, i W. Ożga, „Prototyp stacji pogodowej dla potrzeb leśnictwa-badania pilotażowe”, *sylwan*, t. 161, nr 05, s. 405–412, 2017.
- [4] K. S. Nikhilesh, Y. H. Raaghavendra, P. J. Madhu Soothanan, i R. Resmi, „Low-cost IoT based weather monitoring system for smart community”, w *2020 Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, Coimbatore, India: IEEE, sty. 2020, s. 482–486. doi: 10.1109/ICISC47916.2020.9171156.
- [5] „ESP32 Technical Reference Manual Version 5.2”. Dostęp: 14 grudzień 2024. [Online]. Dostępne na: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- [6] „Esp32 A list of the 1009 libraries in the architecture esp32.” Dostęp: 14 grudzień 2024. [Online]. Dostępne na: <https://www.arduino-libraries.info/architectures/esp32>
- [7] „Installing ESP32 in Arduino IDE (Windows, Mac OS X, Linux) | Random Nerd Tutorials”. Dostęp: 14 grudzień 2024. [Online]. Dostępne na: <https://randomnerdtutorials.com/installing-the-esp32-board-in-arduino-ide-windows-instructions/>
- [8] „ESP32 Web Server: Display Sensor Readings in Gauges | Random Nerd Tutorials”. Dostęp: 14 grudzień 2024. [Online]. Dostępne na: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-web-server-gauges/>
- [9] „ESP32: TFT Touchscreen - 2.8 inch ILI9341 (Arduino) | Random Nerd Tutorials”. Dostęp: 14 grudzień 2024. [Online]. Dostępne na: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-tft-touchscreen-display-2-8-ili9341-arduino/>
- [10] Wolle, *ESP32-audioI2S Library*. (14 grudzień 2024). C. Dostęp: 14 grudzień 2024. [Online]. Dostępne na: <https://github.com/schreibfaul1/ESP32-audioI2S>
- [11] „ESP32 Data Logging Temperature to MicroSD Card | Random Nerd Tutorials”. Dostęp: 14 grudzień 2024. [Online]. Dostępne na: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-data-logging-temperature-to-microsd-card/>
- [12] „Wysokościomierz barometryczny”, *ep.com.pl*. Dostęp: 31 styczeń 2025. [Online]. Dostępne na: <https://ep.com.pl/projekty/projekty-ep/15452-wysokosciomierz-barometryczny>